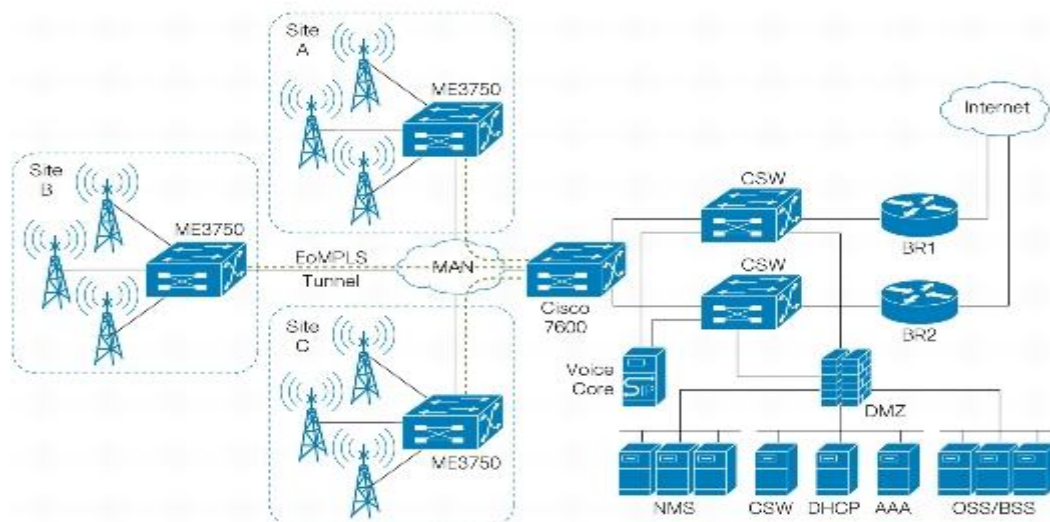




**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

### **ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑΣ ΜΕ ΔΙΑΙΡΕΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**



**ΣΠΑΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ**

# Περιεχομενα

Εισαγωγή

## **Κεφάλαιο 1ο : Χρήση WiMAX και Βασικά Χαρακτηριστικά του**

- 1.1 Χαρακτηριστικά του WiMAX
- 1.2 Σύγκριση Wimax και Wi-Fi
- 1.3 Πως Προσφέρονται οι Υπηρεσίες Broadcasting με Χρήση Wimax
- 1.4 Ανάλυση Επιπέδου Λειτουργίας Wimax για Χρήση σε Broadcasting
- 1.5 Τεχνολογικές Εξελίξεις στις Υπηρεσίες Broadcasting με Χρήση WiMAX
- 1.6 Ασφάλεια και Προκλήσεις του Broadcasting με Χρήση Wimax Έναντι του IEEE 802.11

## **Κεφάλαιο 2ο : Συστήματα WiMAX και Ασύρματα Δίκτυα – Χαρακτηριστικά Λειτουργίας και Ιδιότητες**

- 2.1 Ποια η Λειτουργία Ενός Συστήματος WiMAX
- 2.2 Για Ποιο Λόγο η Ασύρματη Δικτύωση Θεωρείται Καλύτερη στη Χρήση WiMAX
- 2.3 Κατηγορίες Ασυρμάτων Δικτύων**
  - 2.3.1 Κατηγορία Ασύρματα Δίκτυα PAN
  - 2.3.2 Κατηγορία Ασύρματα Δίκτυα LAN
  - 2.3.3 Κατηγορία Ασύρματα Δίκτυα WAN & MAN
  - 2.3.4 Σε Ποιες Περιπτώσεις δεν Χρειάζεται Ασύρματη Δικτύωση
- 2.4 Η Οικογένεια Πρωτοκόλλων 802.11**
  - 2.4.1 Το Πρωτόκολλο 802.11
  - 2.4.2 Το Πρωτόκολλο 802.11b
  - 2.4.3 Το Πρωτόκολλο 802.11a
  - 2.4.4 Το Πρωτόκολλο 802.11g

2.4.5 Πρωτόκολλο 802.11h

2.4.6 Πρωτόκολλο 802.11c,d,f

2.4.7 Πρωτόκολλο 802.11i

2.5 Πρωτόκολλο IEEE 802.16e-2005 – WiMAX και Σύστημα (S) OFDMA

**2.6 QoS – Παροχή Υψηλής Ποιότητας Υπηρεσιών και WiMAX**

2.6.1 802.16 Ασφάλεια WiMAX

2.6.2 Χαρακτηρισμός Καναλιού WiMAX

**Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> : Επίλογος**

## **Πρόλογος**

Σκοπός του φοιτητή στη παρούσα πτυχιακή εργασία, είναι να αναλύσει τη λειτουργία τους συστήματος WiMAX καθώς και των χαρακτηριστικών του προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή παροχή ποιότητας προς τους χρήστες του. Για το σχετικό λόγο λοιπόν, ο φοιτητής αναφέρεται στην πλήρης και αναλυτική λειτουργία των χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων του συστήματος WiMAX στο Πρώτο κεφάλαιο της παρούσης πτυχιακής εργασίας και στο Δεύτερο κεφάλαιο αυτής, αναφέρεται στα ειδικά χαρακτηριστικά που εντοπίζονται αλλά και σε τελική ανάλυση πως συντελεί το κάθε χαρακτηριστικό στην καλύτερη παροχή υπηρεσιών από μέρους του WiMAX προς τους χρήστες των ασύρματων συνδέσεων στις μέρες μας.

## **Ευχαριστίες**

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στον Καθηγητή μας και επιβλέποντα της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας Κο.Νίκο Παπαδάκη για την πολύ μεγάλη βοήθεια του κατά την διάρκεια της έρευνας μας.

Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε όλους τους ειδικούς αλλά και εκείνους που ασχολούνται με τις κατηγορίες και μορφές εφαρμογής ασυρμάτων δικτύων και ιδιαίτερα του WiMAX σε συνάρτηση με το σύστημα OFDMA στην Ελλάδα και οι οποίοι μας βοήθησαν σε υπέρτατο βαθμό στην καταγραφή των απόψεων τους σχετικά με το τρόπο που λειτουργούν τα δίκτυα αυτά, τις κατηγορίες στις οποίες διαχωρίζονται αλλά και στις περιπτώσεις όπου το κάθε ασύρματο δίκτυο μπορεί να προσφέρει σημαντικά αποτελέσματα στο τομέα του Broadcasting με χρήση Winmax.

Τέλος, θα επιθυμούσαμε να αποστείλουμε τις ευχαριστίες μας στα μέλη της οικογενείας μας αλλά και τους φίλους μας, οι οποίοι όλο αυτόν τον καιρό της προετοιμασίας της συγκεκριμένης εργασίας αλλά και έρευνας μας στήριξαν σε υπέρτατο βαθμό.

## **Εισαγωγή**

Το 2003 η IEEE υιοθέτησε το πρότυπο 802.16 γνωστό και σαν WiMAX, ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση (με σταθερούς ρυθμούς) ευρείας ζώνης. Όπως συμβαίνει με τα πρότυπα της σειράς 802 για ασύρματα τοπικά δίκτυα, έτσι και το 802.16 καθορίζει μια οικογένεια προτύπων με επιλογές για συγκεκριμένες ρυθμίσεις. Το WiMax είναι μια νέα τεχνολογία, ένα βήμα μπροστά από το Wi-Fi, που παρέχει ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση υψηλών ταχυτήτων σε μεγάλες αποστάσεις. Είναι σαφώς καλύτερο από το Wi-Fi και μπορεί να καλύψει μεγαλύτερες αποστάσεις μετάδοσης<sup>1</sup>.

Ένα άλλο εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό του WiMax είναι η εμβέλεια (coverage). Το πρότυπο IEEE 802.16 κατασκευάζεται έτσι ώστε να υποστηρίζει τεχνολογίες που αυξάνουν την εμβέλεια του σήματος όπως mesh τοπολογίες και έξυπνες κεραιές. Αξίζει να σημειώσουμε ότι mesh τοπολογίες είναι αυτές οι τοπολογίες δικτύου όπου κάθε κόμβος συνδέεται άμεσα με κάθε άλλο κόμβο του δικτύου. Όσο λοιπόν η ράδιο-τεχνολογίες βελτιώνονται και το κόστος μειώνεται, μεγαλώνει και η δυνατότητα αύξησης της εμβέλειας και του throughput με τη χρήση πολλαπλών κεραιών καθώς ενθαρρύνεται και η εξάπλωση της εμβέλειας σε περιοχές που παλαιότερα ήταν αδύνατο να εξαπλωθεί. Τέλος, σημαντικό κομμάτι της λειτουργίας του WiMAX, αποτελεί

---

<sup>1</sup> <http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/wimax.php>, 2010

και το OFDM ή OFDMA και τα οποία αναλύονται εντός της παρούσης πτυχιακής εργασίας με τα βασικά χαρακτηριστικά και ιδιότητές τους.

## **1. Κεφάλαιο 1ο : Χρήση WiMAX και Βασικά Χαρακτηριστικά του**

### **1.1 Χαρακτηριστικά του WiMAX**

Πλέον ένας φορητός υπολογιστής μπορεί να συνδυάζει τις ιδιότητες κινητού τηλεφώνου και ραδιοφωνικού πομπού: θα πιάνει «παντού» και θα εξασφαλίζει επικοινωνία με και από κάθε γωνιά του πλανήτη. Τα αρχικά της λέξης WiMax προκύπτουν από τις λέξεις World Interoperability for Microwave Access και είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός ο οποίος ταυτοποιεί συγκεκριμένο εξοπλισμό υποστηριζόμενος από εταιρίες (Intel...) προσπαθώντας να προωθήσει το πρότυπο 802.16 σε κάθε ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης σύστημα<sup>2</sup>.

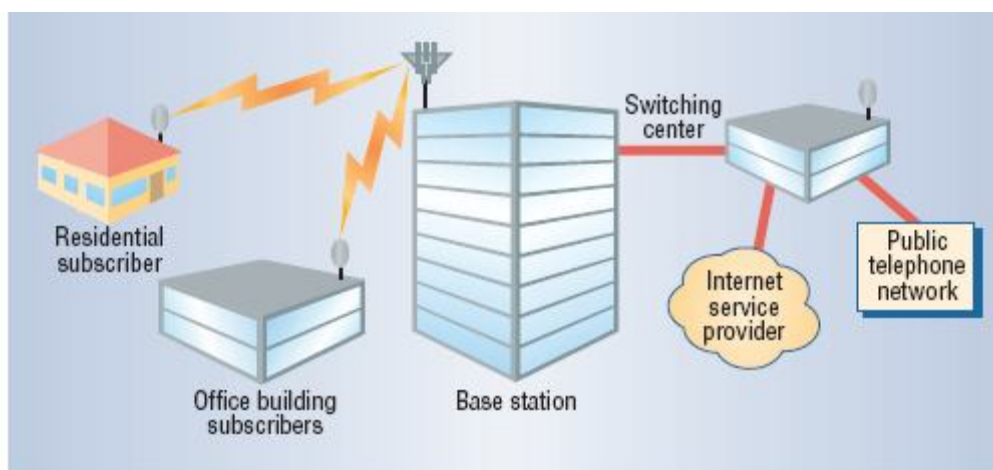
Για να γίνουμε λίγο πιο σαφής το WiMAX δεν είναι ένα πρότυπο αλλά ένα εμπορικό όνομα που αναφέρεται σε κάθε σύστημα και εφαρμογή που χρησιμοποιεί το πρότυπο 802.16. Το να ταυτοποιείται λοιπόν ένα προϊόν με το όνομα WiMAX σημαίνει ότι έχει κατασκευαστεί με βάση το πρότυπο 802.16

---

<sup>2</sup> Μπακούλη Α., Κασινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

και έτσι εξασφαλίζεται η συμβατότητα και η διαλειτουργικότητα (interoperability) στον BWA εξοπλισμό<sup>3</sup>.

Αρχικά, το όραμα των υπερασπιστών του WiMAX, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, ήταν ότι οι μεταφορείς θα εγκαταστήσουν πομποδέκτες στεγών ως σταθμούς βάσεων συνδεδεμένους με το Διαδίκτυο. Κάθε ένας σταθμός βάσεων θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία WiMax για να στείλει και να λάβει δεδομένα από και προς τις σταθερές κεραιές συνδρομητών, που είναι τοποθετημένες στις στέγες ή στους εξωτερικούς τοίχους<sup>4</sup>.



Αντίθετα με άλλα ασύρματα δίκτυα, τα οποία επιτρέπουν μεταδόσεις μόνο με ένα φάσμα συχνότητας, το WiMax επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων με πολλαπλά, ευρέα φάσματα συχνότητας. Αυτό βοηθάει πάρα πολύ, γιατί το να υπάρχουν πολλά φάσματα, μεγιστοποιεί τη δυνατότητα της τεχνολογίας να μεταδώσει πέρα από τις συχνότητες άλλων ασύρματων εφαρμογών.

<sup>3</sup> Μπακούλη Α., Κατσινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

<sup>4</sup> <http://www.tkne.net/vb/>, WiMAX Operation, 2010



Το WiMax αναμένεται να επιτρέψει αληθινές ευρυζωνικές ταχύτητες πέρα από τα ασύρματα δίκτυα με κόστος που θα καταστήσει ενεργή την υιοθέτηση μαζικής αγοράς. Το WiMax είναι το μόνο ασύρματο πρότυπο που σήμερα έχει τη δυνατότητα να παραδώσει τις αληθινές ευρυζωνικές ταχύτητες και βοηθάει στο να γίνει το όραμα της κυρίαρχης συνδετικότητας μια πραγματικότητα. Τα βασικά πλεονεκτήματα των συστημάτων που βασίζονται στο πρότυπο 802.16 είναι τα εξής<sup>5</sup>:

- *Η ικανότητα γρήγορης παροχής υπηρεσιών ακόμα και σε περιοχές πολύ απομακρυσμένες όπου η εγκατάσταση ενσύρματων δικτύων θα ήταν εξαιρετικά δύσκολη.*
- *Αποφυγή μεγάλου κόστους εγκατάστασης.*
- *Η ικανότητα υπέρβασης των φυσικών περιορισμών που υπάρχουν στην ενσύρματη δικτύωση.*

Συνοψίζοντας τα παραπάνω θα μπορούσε να αναφερθεί ότι το 802.16 συνιστά ένα πολύ ευέλικτο και οικονομικό πρότυπο το οποίο μπορεί να καλύψει τις αδυναμίες της ενσύρματης δικτύωσης και επιπλέον να παρέχει νέες υπηρεσίες και προϊόντα. Αρχικά βασικό χαρακτηριστικό του προτύπου είναι η διεκπαιρευτική ικανότητα (throughput). Το πρότυπο IEEE 802.16 επιτυγχάνει πολύ μεγάλη διεκπαιρευτική ικανότητα, ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις αφού έχει ένα πολύ μεγάλο φάσμα εκπομπής που είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό σε αντανakλάσεις του σήματος κατά τη διάρκεια της διαδρομής του.

---

<sup>5</sup> Μπακούλη Α., Κατσινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

Επίσης πολύ σημαντικό για τη διάδοση του είναι η κλιμακοσιμότητα (scalability) ή καλύτερα επεκτασιμότητα. Για να μπορεί να γίνει εύκολος και επεκτάσιμος σχεδιασμός κυψελών (cells) επικοινωνίας σε επιτρεπόμενες και μη συχνοτικές μπάντες, το πρότυπο IEEE 802.16 υποστηρίζει ευέλικτα από την άποψη εύρους ζώνης κανάλια επικοινωνίας. Για παράδειγμα αν σε κάποιο χειριστή ανατεθεί συχνοτικό φάσμα των 20 MHz, τότε αυτός μπορεί να χωρίσει το φάσμα σε δύο κομμάτια των 10 MHz ή ακόμα σε τέσσερα κομμάτια των 5 MHz<sup>6</sup>.

Συγκεντρώνοντας έτσι όλη την ενέργεια σε ένα πολύ μικρό φάσμα συχνοτήτων ο χειριστής μπορεί να αυξήσει τον αριθμό των χρηστών επιτυγχάνοντας παράλληλα μεγάλο βεληνεκές και throughput. Για να κλιμακώσει ακόμα περισσότερο την εμβέλεια του σήματος, ο χειριστής μπορεί να χωρίσει ακόμα περισσότερο το φάσμα συχνοτήτων δημιουργώντας απομόνωση μεταξύ των κεραιών των σταθμών βάσης.

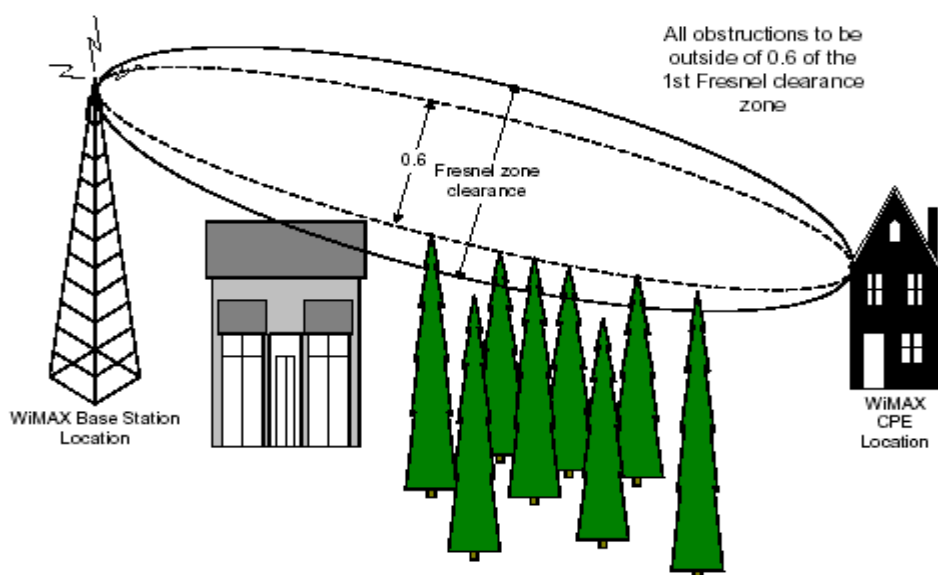
Η παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών (QoS ή Quality of service) όπως είναι η μεταφορά φωνής, είναι εξαιρετικά σημαντική για την υιοθέτηση και εξάπλωση του προτύπου. Για αυτό ακριβώς το λόγο το υποπρότυπο 802.16a συμπεριλαμβάνει κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που κάνουν δυνατή τη μεταφορά φωνής και βίντεο αφού για να είναι εφικτή αυτή η μεταφορά χρειάζεται ένα χαμηλού φόρτου δίκτυο.

Επίσης κάτι άλλο που χαρακτηρίζει το πρότυπο IEEE 802.16 είναι τα κανάλια ραδιοκυμάτων ασύρματης επικοινωνίας, στα οποία εκπέμπονται οι

---

<sup>6</sup> Μπακούλη Α., Κατσινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

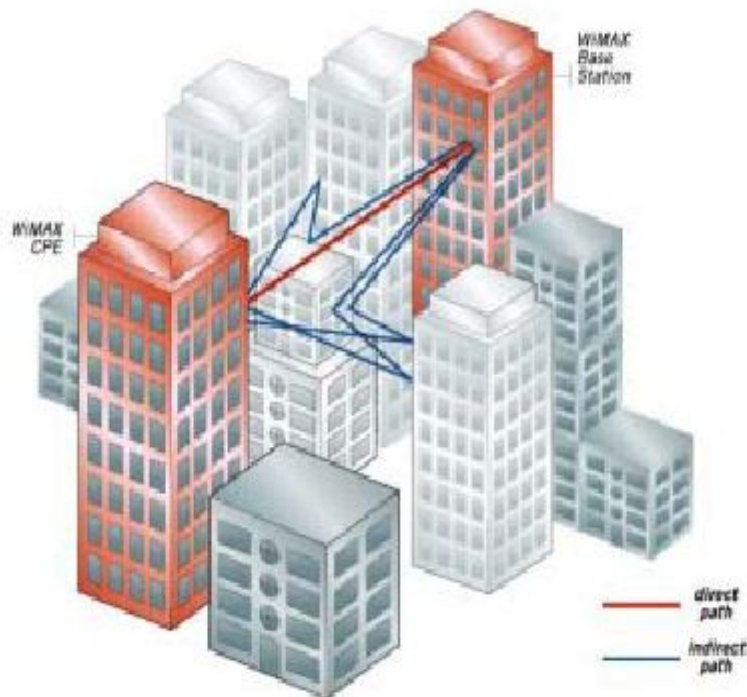
συχνότητες. Αυτά διαχωρίζονται σε LOS (Line of sight) και σε NLOS ( Non line of sight). Σε μια σύνδεση LOS ένα σήμα ταξιδεύει σε μία άμεση και χωρίς εμπόδια διαδρομή από το πομπό στο δέκτη. Μια σύνδεση LOS, απαιτεί το περισσότερο μέρος της ζώνης Fresnel να μην παρεμποδίζεται από κάτι. Αν δεν ισχύει αυτό ο παράγοντας τότε η ισχύς του σήματος ελαττώνεται σημαντικά. Γενικά, γνωρίζουμε ότι η ζώνη Fresnel καλύπτει τη ζώνη οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη. Τα παραπάνω φαίνονται καλύτερα στο παρακάτω σχήμα. Αξίζει να σημειώσουμε ότι η Fresnel zone clearance που αναφέρεται στο σχήμα, εξαρτάται από τη συχνότητα του σήματος και βέβαια από την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη<sup>7</sup>.



Σε μια NLOS σύνδεση ένα σήμα φθάνει στο δέκτη μέσω αντανάκλασεων και διασποράς. Το σήμα αυτό που φθάνει στο δέκτη αποτελείται από σήμα που έφτασε άμεσα από το πομπό, σήμα που έφτασε

<sup>7</sup> Χρυσόγελος Π., Σχεδίαση, Προσομοίωση και Κατασκευή Τμήματος RF σε Πομπό WiMAX, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008

από πολλαπλά μονοπάτια μέσω αντανάκλασης, διασπαρμένη ενέργεια και μονοπάτια όπου συνέβη περίθλαση. Αυτά τα σήματα έχουν διαφορετική καθυστέρηση διάδοσης, πολώσεις, και σταθερότητα σχετικά με το σήμα που φτάνει άμεσα. Το φαινόμενο αυτό του πολλαπλού μονοπατιού που περιγράφουμε μπορεί να ευθύνεται και για την αλλαγή της πολικότητας του σήματος. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα παράδειγμα μιας NLOS μετάδοσης<sup>8</sup>.



Γενικά, αν και υπάρχουν προβλήματα, η NLOS μετάδοση έχει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι της LOS αφού είναι πιο ευέλικτη, απαιτεί πολύ μικρότερες κεραιές. Η ύπαρξη μικρών κεραιών είναι πολύ μεγάλης σημασία

<sup>8</sup> Μπακούλη Α., Κασιανάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

σε ασύρματα δίκτυα με κυψελοειδής δομές και αυτό συμβαίνει γιατί με μικρές κεραιές μειώνονται οι παρεμβολές μεταξύ των γειτονικών κυψελών. Βέβαια η NLOS μετάδοση μειώνει το κόστος εγκατάσταση σε απομακρυσμένες περιοχές όπου η εγκατάσταση πολλών κεραιών είναι αρκετά δύσκολη<sup>9</sup>.

## **1.2 Σύγκριση Wimax και Wi-Fi**

Αν και τα δύο πρότυπα μοιράζονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά προσεγγίζουν το θέμα της ασύρματης δικτύωσης από δύο διαφορετικές πλευρές. Τα δύο πρότυπα σχεδιάστηκαν για να εξυπηρετήσουν διαφορετικούς σκοπούς<sup>10</sup>. Μια σημαντική διαφορά του προτύπου IEEE 802.16 σε σχέση με το IEEE 802.11 είναι ότι το πρώτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνθήκες μη οπτικής επαφής φυσικά με ρυθμούς μετάδοσης πολύ χαμηλότερους των 50 Mbps.

Το πρότυπο IEEE 802.16 παρέχει υψηλού επιπέδου ποιότητα υπηρεσίας. Το επίπεδο MAC του προτύπου είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει στους χρήστες, όταν οι ίδιοι το επιθυμούν, εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης και ταυτόχρονα κίνηση best effort σε χρήστες που καλύπτονται από το ίδιο base station κάτι που το πρότυπο IEEE 802.11 δεν μπορούσε να εξασφαλίσει. Δηλαδή, αν υποθέσουμε ότι δύο χρήστες καλύπτονται από το ίδιο base station, είναι δυνατό ο ένας χρήστης να έχει εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας και ο δεύτερος χρήστης να δέχεται και να στέλνει απλή IP κίνηση best effort κάτι που με το πρότυπο 802.11 δεν ήταν

---

<sup>9</sup> <http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/wimax.php>, 2010

<sup>10</sup> Μπακούλη Α., Κατσινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

δυνατό. Δηλαδή χρήστες που βρισκόταν στην κάλυψη ενός Access Point είχαν την ίδια ποιότητα υπηρεσίας.

Η πιο θεμελιώδης διαφορά είναι ότι το WiFi είναι μια τεχνολογία για τοπική δικτύωση και σχεδιάστηκε για να δώσει μια κινητικότητα σε ιδιωτικά ενσύρματα LAN ενώ το WiMAX σχεδιάστηκε για να παρέχει BWA υπηρεσίες. Η ιδέα πίσω από τις BWA υπηρεσίες είναι η ασύρματη πρόσβαση στο internet χωρίς καλώδια και DSL τεχνολογίες. Έτσι λοιπόν ενώ το WiFi υποστηρίζει εύρος μετάδοσης μερικών εκατοντάδων μέτρων, τα WiMAX συστήματα μπορούν να υποστηρίξουν υπηρεσίες μεγαλύτερες των 50 χιλιομέτρων. Το παραπάνω επιχείρημα μπορεί μάλιστα να δικαιολογήσει γιατί δεν γίνεται τόσο μεγάλος λόγος στην αγορά για το WiMAX όσο για το WiFi, αφού το WiFi στοχεύει στο χρήστη ενώ το WiMAX χρησιμοποιείται σαν η κύρια αρτηρία μεταφοράς δεδομένων σε μακρινές αποστάσεις<sup>11</sup>.

Μια άλλη διαφορά συναντάται στο γεγονός ότι το WiMax παρέχει συμμετρικό εύρος ζώνης για πολλά χιλιόμετρα και σειρά με την ισχυρότερη κρυπτογράφηση (3DES και AES) και συγκεκριμένα με τη λιγότερη παρέμβαση. Αντίθετα το πρότυπο IEEE 802.11 έχει την κρυπτογράφηση WEP ή WPA και δεν μπορεί να υπάρξει μεγάλη παρέμβαση σε περιοχές όπως αυτές όπου υπάρχουν πολλοί συνδεδεμένοι χρήστες. Επίσης τα πρότυπα WiFi και WiMAX έχουν και μία σημαντική διαφορά στο εύρος ζώνης των καναλιών. Το WiFi καθορίζει ένα σταθερό εύρος ζώνης καναλιού που είναι 25MHz για το 802.11b και 20MHz για τα 802.11a και 802.11g. Αντίθετα

---

<sup>11</sup> <http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/wimax.php>, 2010

στο WiMAX, το εύρος ζώνης του καναλιού είναι προσαρμοστικό και κυμαίνεται από το 1.25MHz μέχρι τα 20MHz<sup>12</sup>.

### **1.3 Πως Προσφέρονται οι Υπηρεσίες Broadcasting με Χρήση Wimax**

Λόγω των μεγάλων αποστάσεων που καλύπτει και ταυτόχρονα τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που μπορεί να παρέχει, το πρότυπο WiMAX βρίσκει πολλές εφαρμογές, λύνοντας σημαντικά προβλήματα που απασχολούσαν του τεχνικούς δικτύων σήμερα. Τρεις είναι οι βασικότερες χρήσεις του<sup>13</sup>:

- Δίκτυο κορμού στα κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας. Η εισαγωγή του προτύπου αυτού αναμένεται να μειώσει σημαντικά το κόστος εξάπλωσης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας μιας και αποτελεί μια οικονομικότερη πρόταση, αν συγκριθεί με την οπτική ίνα, για τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας. Εξασφαλίζει ταυτόχρονα αξιοπιστία και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που απαιτούν τα δίκτυα κορμού των κινητών δικτύων επικοινωνιών.
- Broadband on Demand. Παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης κάνοντας εφικτή τη χρήση της τεχνολογίας για εφαρμογές πραγματικού

---

<sup>12</sup> Ντάουλας Ν., Σύγκριση WiMAX και Βασικά Χαρακτηριστικά Wi-Fi, 2009

<sup>13</sup> Ντάουλας Ν., Σύγκριση WiMAX και Βασικά Χαρακτηριστικά Wi-Fi, 2009

χρόνου κάτι που με το πρότυπο IEEE 802.11 σε μεγάλες αποστάσεις δεν ήταν εφικτό.

- Παρέχει κάλυψη σε περιοχές που είναι αδύνατο να καλυφθούν με χρήση χαλκού ή οπτικής ίνας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συμπλήρωμα δικτύων οπτικών ινών σε τμήματα του εδάφους στα οποία το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης δικτύων οπτικών ινών είναι απαγορευτικό.

Το WiMAX έχει δύο κύριες εφαρμογές: οι σταθερές εφαρμογές WiMAX είναι **Point-to-Multipoint** επιτρέποντας την ευρυζωνική πρόσβαση στα σπίτια και τις επιχειρήσεις, ενώ κινητό WiMax προσφέρει την πλήρη κινητικότητα των κυψελοειδών δικτύων με τις αληθινές ευρυζωνικές ταχύτητες. Το WiMAX σχεδιάστηκε κατά βάση ώστε να καλύπτει κυρίως Point-to-Multipoint (PTM) συνδέσεις χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για point to point συνδέσεις. Η διαμόρφωση η οποία χρησιμοποιείται ονομάζεται OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)<sup>14</sup>.

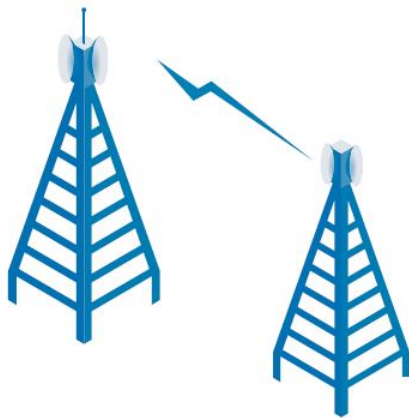
Πρόκειται για μια πολύ ανθεκτική διαμόρφωση σε ότι αφορά το φαινόμενο της πολυδιόδευσης ειδικότερα στις συχνότητες πάνω των 2 GHz όπου το πρότυπο χρησιμοποιεί. Συγκεκριμένα, αυτή η διαμόρφωση έχει πλεονεκτήματα στη ρυθμοαπόδοση, στη λανθάνουσα κατάσταση, τη φασματική αποδοτικότητα και την προηγμένη υποστήριξη κεραιών κάνοντάς το ικανό να παρέχει την υψηλότερη απόδοση από τις σημερινές ευρείες ασύρματες τεχνολογίες περιοχής. Παρακάτω παρουσιάζονται γραφικά οι point to point και οι Point-to-Multipoint συδέσεις:

---

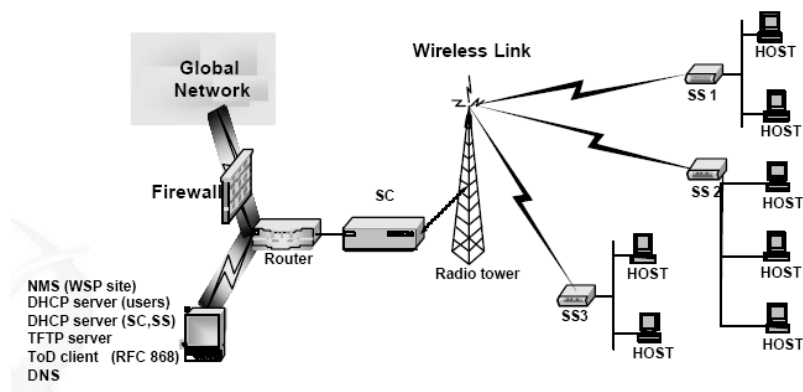
<sup>14</sup> Χρυσόγελος Π., Σχεδίαση, Προσομοίωση και Κατασκευή Τμήματος RF σε Πομπό WiMAX, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008



### ***Point-to-Point***



### ***Point-to-Multipoint***



Το πρότυπο IEEE 802.16 σχεδιάστηκε ώστε να λειτουργεί σε μια ευρεία μπάντα συχνοτήτων η οποία εκτείνεται από 2 ως 66 GHz. Υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης ως και 72 Mbps στον αέρα ενώ η πραγματική ταχύτητα στο Ethernet υπολογίζεται στα 50 Mbps. Οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν ξεπερνούν τα 50 Km σε συνθήκες οπτικής επαφής. Οι ταχύτητες μετάδοσης του προτύπου εξαρτώνται από την εκάστοτε ψηφιακή διαμόρφωση που χρησιμοποιείται. Συνήθεις διαμορφώσεις είναι η 64 QAM η οποία μπορεί να εξασφαλίσει και τη μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης, η 16 QAM και η QPSK η οποία μπορεί να εξασφαλίσει μεγάλη κάλυψη του συστήματος<sup>15</sup>.

#### **1.4 Σημεία τα Οποία θα Πρέπει να Προσέχονται Λεπτομερώς**

##### **1.4.1 Ανάλυση Επιπέδου Λειτουργίας Wimax για Χρήση σε Broadcasting**

Το πρότυπο IEEE 802.16 σε χρήση broadcasting καθορίζει τα δύο πρώτα επίπεδα του OSI μοντέλου δηλαδή το φυσικό και το επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων (το οποίο περιλαμβάνει το MAC επίπεδο), point-to-multipoint (από ένα σε πολλά σημεία) συστημάτων ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης. Όπως θα διαπιστώσουμε και παρακάτω, η ανάπτυξη αυτών των επιπέδων είναι τέτοια ώστε τα προϊόντα ασύρματης

---

<sup>15</sup> <http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/wimax.php>, 2010

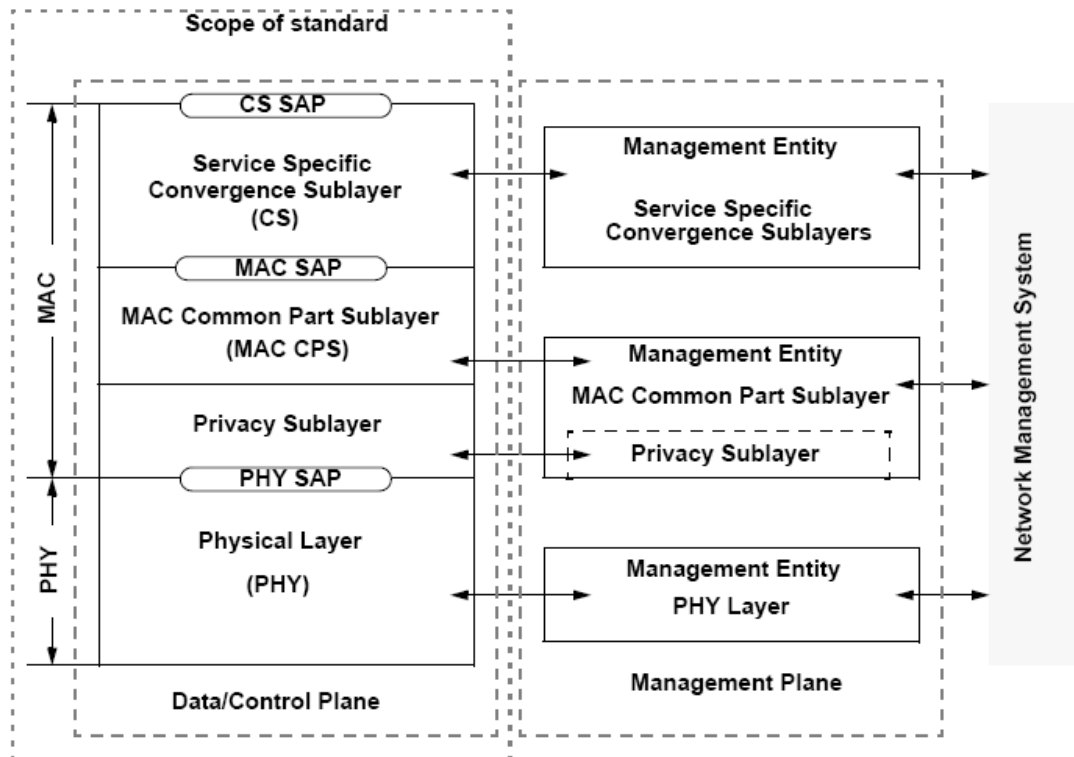
ευρυζωνικής πρόσβασης που κατασκευάζονται με βάση αυτό το πρότυπο να είναι ευέλικτα και έτσι ιδιαίτερα ανταγωνιστικά<sup>16</sup>.

Θα πρέπει να σημειωθεί πως το πρότυπο λειτουργεί στο συχνοτικό φάσμα των 10-66 GHz. Αυτή η συχνοτική μπάντα δημιουργεί ένα φυσικό περιβάλλον όπου εξαιτίας του μικρού μήκους κύματος η επίτευξη επικοινωνίας απαιτεί οπτική επαφή (line of sight ή LOS), αλλά όμως η λήψη σήματος πολλαπλών διαδρομών (multipath) είναι αμελητέα. Τα κανάλια του φυσικού περιβάλλοντος του πρότυπου είναι μεγάλα. Με ιδανικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων μεγαλύτερο από 120 Mbit/s το περιβάλλον που δημιουργείται είναι κατάλληλο point-to-multipoint εφαρμογές είτε αυτές είναι SOHO είτε είναι μεγαλύτερου εύρους εφαρμογές<sup>17</sup>. Η στοίβα πρωτοκόλλων του IEEE 802.16 πρότυπου σε χρήση broadcasting παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Το SAP (service access point) αποτελεί το σημείο επικοινωνίας ενός υποεπιπέδου με το άλλο και είναι ουσιαστικά ότι είναι το port για το TCP/IP.

---

<sup>16</sup> Χρυσόγελος Π., Σχεδίαση, Προσομοίωση και Κατασκευή Τμήματος RF σε Πομπό WiMAX, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008

<sup>17</sup> Χρυσόγελος Π., Σχεδίαση, Προσομοίωση και Κατασκευή Τμήματος RF σε Πομπό WiMAX, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008



Ξεκινώντας από πάνω προς τα κάτω παρατηρούμε ότι το Medium Access Control αποτελείται από τρία υποεπίπεδα. Το πρώτο από αυτά είναι το Service Specific Convergence Sublayer (CS) ή διαφορετικά «υποεπίπεδο σύγκλισης εξαρτώμενο από την υπηρεσία». Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι η δουλειά αυτού του υποεπιπέδου είναι η διασύνδεση με το επίπεδο δικτύου. Το επίπεδο που ακολουθεί είναι το MAC Common Part Sublayer (MAC CPS) ή διαφορετικά «κοινό τμήμα υποεπιπέδου MAC»<sup>18</sup>.

Εδώ βρίσκονται τα βασικά πρωτόκολλα όπως η διαχείριση του καναλιού σε χρήση broadcasting. Το μοντέλο είναι ότι ο σταθμός βάσης ελέγχει το σύστημα. Μπορεί δηλαδή να χρονοπρογραμματίσει τα κατερχόμενα κανάλια (τα κανάλια δηλαδή από τη βάση προς τον συνδρομητή), ενώ παίζει

<sup>18</sup> Χρυσόγελος Π., Σχεδίαση, Προσομοίωση και Κατασκευή Τμήματος RF σε Πομπό WiMAX, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008

ρόλο και στη διαχείριση των ανερχόμενων καναλιών (δηλαδή των καναλιών από το συνδρομητή προς τη βάση). Την τριάδα των υποεπιπέδων του MAC κλείνει το Privacy Sublayer ή διαφορετικά «υποεπίπεδο ασφάλειας».

Αυτό το επίπεδο προσφέρει αυθεντικοποίηση (authentication), ανταλλαγή κλειδιού ασφαλείας και κρυπτογράφησης. Τέλος το χαμηλότερο επίπεδο είναι το φυσικό επίπεδο (PHY) το οποίο ασχολείται και με τη μετάδοση. Εκεί χρησιμοποιείται η παραδοσιακή μετάδοση ραδιοκυμάτων στενής ζώνης με συμβατικές μεθόδους διαμόρφωσης. Στη συνέχεια γίνεται εκτενέστερη ανάλυση για το επίπεδο MAC και το επίπεδο PHY σε χρήση broadcasting.

## MAC

Ένα δίκτυο του οποίου η λειτουργία βασίζεται σε ένα μέσο επικοινωνίας, πρέπει να διαθέτει μηχανισμούς να διαχειρίζεται αυτό το μέσο και να το μοιράζει στους κόμβους του. Στη περίπτωση του πρωτοκόλλου 802.16 με το έργο της διαχείρισης καναλιού έχει επιφορτιστεί το υποεπίπεδο MAC CPS<sup>19</sup>.

Το κατέβασμα δεδομένων από το σταθμό βάσης (BS ή base station) στο χρήστη γίνεται με μία point to multipoint λογική. Έτσι το πρότυπο 802.16 σε χρήση broadcasting λειτουργεί με ένα κεντρικό σταθμό βάσης και μία κεραία πολλαπλών τομέων η οποία έχει τη δυνατότητα να διαχειρίζεται αυτούς τους πολλαπλούς τομείς παράλληλα. Για μία συγκεκριμένη συχνότητα καναλιού και ένα συγκεκριμένο τομέα, όλοι οι χρήστες λαμβάνουν τα ίδια

---

<sup>19</sup> Μπακούλη Α., Κατσινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

δεδομένα. Για αυτό ακριβώς το λόγο ένα σταθμός βάσης εκπέμπει σε ένα συγκεκριμένο τομέα (με συγκεκριμένη συχνότητα καναλιού) και στα μηνύματα απάντησης συγκρατεί τις διευθύνσεις των χρηστών του τομέα για μελλοντική επικοινωνία. Στην αντίθετη κατεύθυνση οι σταθμοί χρηστών, μοιράζονται το κανάλι επικοινωνίας με το σταθμό βάσης, με βάση τις απαιτήσεις που υπάρχουν. Βασικός παράγοντας βέβαια είναι και οι υπηρεσίες που ζητούν.

Σε κάθε τομέα οι χρήστες «υπακούουν» ένα πρωτόκολλο μετάβασης, έτσι ώστε ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του καναλιού να μπορεί να επιτευχθεί οι εξυπηρέτηση όλων των χρηστών. Για να γίνει αυτό υπάρχουν πέντε διαφορετικού τύπου uplink (ανέβασμα δεδομένων στο σταθμό βάσης) μηχανισμοί χρονοπρογραμματισμού. Οι μηχανισμοί είναι σαφώς ορισμένοι από το πρωτόκολλο έτσι ώστε να μπορούν οι κατασκευάστριες εταιρίες προϊόντων 802.16 να βελτιώνουν όλο και περισσότερο τα προϊόντα τους διαφορετικούς συνδυασμούς τεχνικών που ορίζουν οι παραπάνω μηχανισμοί.

Το MAC CPS δημιουργεί συνδέσεις για να διαχειριστεί το κανάλι. Αυτό ενισχύει την αξιοπιστία και εξασφαλίζει υψηλή ποιότητα υπηρεσιών. Κάθε φορά που ένα SS (Subscriber station) εγκαθίσταται στο δίκτυο, τότε αμέσως δημιουργείται μια σύνδεση με αυτόν, για να είναι δυνατή η ροή υπηρεσιών. Θυμίζουμε εδώ ότι η έννοια SS αναφέρεται στον εξοπλισμό εδραίωσης μια σύνδεσης μεταξύ σταθμού βάσης και σταθμού χρήστη. Σύνδεση βέβαια μπορεί να γίνει και αν κάποια υπηρεσία κάποιου πελάτη χρειάζεται αλλαγή. Να πούμε εδώ ότι η έννοια σύνδεση καθορίζει και την αντιστοίχιση μεταξύ ομότιμων διεργασιών που χρησιμοποιούν MAC και τη ροή υπηρεσιών. Για να γίνουμε λίγο πιο κατανοητοί, η ροή υπηρεσιών αναφέρεται σε όλες τις QoS

παραμέτρους εκείνες των PDU's που ανταλλάζονται κατά τη σύνδεση σε χρήση broadcasting<sup>20</sup>.

Σε ένα πρωτόκολλο δομημένο σε πολλά επίπεδα, η ροή της πληροφορία μεταξύ των των επιπέδων μπορεί να οριστεί με τα primitives που αντιπροσωπεύουν διαφορετικά είδη πληροφορίας και έτσι κάνουν πιο ξεκάθαρες τις σχέσεις μεταξύ επιπέδων του πρωτοκόλλου. Τα primitives μπορούμε να τα φανταστούμε σαν όρους επικοινωνίας μεταξύ των επιπέδων. Τα primitives που υποστηρίζονται από το MAC σε χρήση broadcasting είναι αυτά που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα<sup>21</sup>:

- *MAC\_CREATE\_CONNECTION.request*
- *MAC\_CREATE\_CONNECTION.indication*
- *MAC\_CREATE\_CONNECTION.response*
- *MAC\_CREATE\_CONNECTION.confirmation*
- *MAC\_CHANGE\_CONNECTION.request*
- *MAC\_CHANGE\_CONNECTION.indication*
- *MAC\_CHANGE\_CONNECTION.response*
- *MAC\_CHANGE\_CONNECTION.confirmation*
- *MAC\_TERMINATE\_CONNECTION.request*
- *MAC\_TERMINATE\_CONNECTION.indication*
- *MAC\_TERMINATE\_CONNECTION.response*

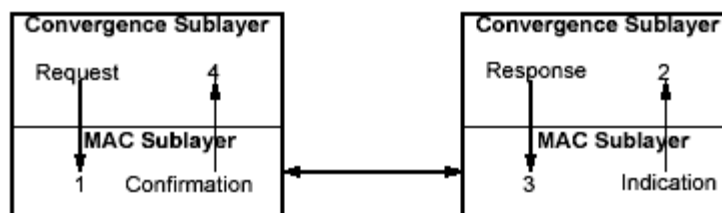
---

<sup>20</sup> Μπακούλη Α., Κασιανάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

<sup>21</sup> Χρυσόγελος Π., Σχεδίαση, Προσομοίωση και Κατασκευή Τμήματος RF σε Πομπό WiMAX, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008

- *MAC\_TERMINATE\_CONNECTION.confirmation*
- *MAC\_DATA.request*
- *MAC\_DATA.indication*

Για να γίνει τώρα κατανοητό πως επικοινωνούν τα επίπεδα CS και MAC καθώς και το πως λειτουργούν τα primitives ακολουθεί το παρακάτω σχήμα.



Αρχικά γίνεται αίτηση για κάποια υπηρεσία σε ένα κατώτερο επίπεδο του πρωτοκόλλου όπως φαίνεται και στο σχήμα, με τη χρήση ενός request primitive. Όταν αποσταλεί η αίτηση μέσω αέρα στο ομότιμο MAC υποεπίπεδο, παράγεται ένα “indicate primitive” το οποίο πληροφορεί το ομότιμο CS υποεπίπεδο για την αίτηση αυτή. Τότε το CS υποεπίπεδο με τη σειρά του απαντάει με ένα “response primitive”<sup>22</sup>. Τέλος αυτή η απάντηση στέλνεται ξανά στο MAC υποεπίπεδο από το οποίο προήλθε η αίτηση, το οποίο με τη σειρά του στέλνει ένα “confirm primitive” στην οντότητα που έκανε την αίτηση. Αξίζει να σημειωθεί, ότι σε ορισμένες περιπτώσεις, δεν είναι απαραίτητο να στείλουμε πληροφορίες στον ομότιμο σταθμό και έτσι το “confirm primitive” στέλνεται αμέσως από το MAC υποεπίπεδο στην οντότητα που έκανε την αίτηση. Αυτό συμβαίνει όταν η αίτηση απορρίπτεται από το MAC υποεπίπεδο στη πλευρά που έγινε η αίτηση.

<sup>22</sup> Ντάουλας Ν., Σύγκριση WiMAX και Βασικά Χαρακτηριστικά Wi-Fi, 2009



Για να επιτευχθεί η σύνδεση κάθε SS έχει μια 48-bit καθολική διεύθυνση όπως ορίζεται από την IEEE για το πρότυπο 802.16. Αυτή η διεύθυνση ορίζει μονοσήμαντα το SS από ένα σύνολο προϊόντων διαφορετικών εταιριών. Επίσης η εγγραφή αυτής της διεύθυνσης γίνεται κατά τη εγκατάσταση μιας σύνδεσης και χρησιμοποιείται στη διαδικασία επικύρωσης μεταξύ BS και SS.

Η σύνδεση μεταξύ ενός BS και ενός SS ταυτοποιείται με τη βοήθεια ενός CID 16 bit, ο οποίος είναι ο κωδικός κάθε σύνδεσης. Κατά την εγκατάσταση του SS τρεις συνδέσεις μεταξύ του SS και του BS αρχικοποιούνται για κάθε κατεύθυνση ( uplink ή SS → BS, downlink ή BS→ SS). Η βασική σύνδεση χρησιμοποιείται από το BS MAC και το SS MAC για ανταλλαγή μικρών σε μέγεθος, επειγόντων, MAC μηνυμάτων διαχείρισης. Από τις δύο άλλες συνδέσεις η μία χαρακτηρίζεται ως πρωτεύουσα και η άλλη ως δευτερεύουσα. Η πρωτεύουσα χρησιμοποιείται από το BS MAC και το SS MAC για ανταλλαγή μεγάλων μηνυμάτων. Ενώ η δευτερεύουσα σύνδεση αναφέρεται σε μηνύματα ακόμα πιο ανθεκτικά στο χρόνο<sup>23</sup>.

## *PHY*

Όπως προαναφέραμε, το φυσικό επίπεδο αναφέρεται στο κομμάτι της μετάδοσης της πληροφορίας για την οποία χρησιμοποιείται η παραδοσιακή μετάδοση ραδιοκυμάτων στενής ζώνης σε χρήση broadcasting. Οι υπηρεσίες του φυσικού επιπέδου παρέχονται στο MAC υποεπίπεδο μέσω του PHY SAP (service access point). Η λειτουργία του PHY επιπέδου όπως συνέβαινε και

---

<sup>23</sup> Μπακούλη Α., Κασινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

με το MAC CPS μπορεί να περιγραφεί μέσω primitives. Αυτά χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες οι οποίες είναι οι εξής<sup>24</sup>:

- *Primitives υπηρεσιών που υποστηρίζουν μεταφορά δεδομένων και συμμετέχουν ως ενδιάμεσα σήματα στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ομότιμων επιπέδων MAC. Αυτά είναι τα PHY\_MACPDU primitives.*
- *Primitives υπηρεσιών που έχουν τοπική σημασία και αναφέρονται σε αλληλεπιδράσεις μεταξύ υποεπιπέδων κάποιου επιπέδου. Σε αυτά περιλαμβάνονται τα PHY\_TXSTART primitives.*
- *Primitives που υποστηρίζουν συναρτήσεις διαχείρισης. Τέτοια είναι τα PHY\_DCD primitives.*

## **1.5 Τεχνολογικές Εξελίξεις στις Υπηρεσίες Broadcasting με Χρήση WiMAX**

Η υπηρεσία Broadcasting έχει ποικίλες εφαρμογές και έχει δώσει λύσεις σε πολλά προβλήματα της βιομηχανίας. Κάποιες από αυτές τις εφαρμογές παρουσιάζονται στη συνέχεια<sup>25</sup> :

*Κυψελοειδής Μετάδοση :*

---

<sup>24</sup> Μπακούλη Α., Κασινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

<sup>25</sup> Χρυσόγελος Π., Σχεδίαση, Προσομοίωση και Κατασκευή Τμήματος RF σε Πομπό WiMAX, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2008

Οι παροχείς της κύριας αρτηρίας (backbone) του internet στην Αμερική είναι αναγκασμένοι να μισθώσουν σε τρίτους παροχείς υπηρεσιών (ISP's) γραμμές του δικτύου μια συμφωνία που κάνει την ενσύρματη σύνδεση στο internet για τους χρήστες αρκετά προσιτή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το 20% των κυψελών που εξυπηρετούν την ασύρματη επικοινωνία να μένουν αχρησιμοποίητες. Στην Ευρώπη όμως δεν συμβαίνει αυτό, πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει να βρεθούν εναλλακτικές λύσεις. Η στιβαρότητα του 802.16a αποτελεί μία εξαιρετική λύση σε εταιρίες παροχής τέτοιων υπηρεσιών που τώρα δε θα είναι αναγκασμένες να μισθώνουν ενσύρματες γραμμές αλλά μπορούν με τη χρήση των ασύρματων κυψελών να παρέχουν φτηνό internet στους χρήστες.

#### *Επέκταση της ασύρματης ευρυζωνικότητας :*

Η υπηρεσία Broadcasting μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μεγαλύτερη αξιοποίηση της. Τα σπίτια ή τα γραφεία τα οποία έχουν μικρά LAN τα οποία χρησιμοποιούν την υπηρεσία Broadcasting μπορεί να γίνουν σταθμοί για ένα 802.16 WAN ειδικότερα σε περιοχές που η χρήση καλωδίων είναι εξαιρετικά δύσκολη. Εδώ μπαίνει ξανά το θέμα σύνδεσης στο internet ειδικότερα για εταιρίες οι οποίες χρειάζεται να μετακινούνται. Ένα άλλο θέμα η δυσκολία εγκατάστασης καλωδιώσεων σε κτίρια τα οποία δεν είχε γίνει κάποια τέτοια εγκατάσταση πριν. Η χρήση της υπηρεσίας Broadcasting μας απαλλάσσει από αυτό το πρόβλημα και με πολύ χαμηλότερο κόστος. Επίσης μας δίνει το πλεονέκτημα ότι γρήγορα μπορούμε να διαμορφώσουμε τη σύνδεση μας σε πιο αργή ή γρηγορότερη χωρίς επιπλέον εγκατάσταση.

#### *Άρση των περιορισμών των καλωδίων :*

Υπάρχουν κάποιο φυσικοί περιορισμοί στις καλωδιακές και DSL τεχνολογίες οι οποίοι αποτρέπουν πολλούς πελάτες να συνδεθούν με το δίκτυο. Η παραδοσιακή DSL σύνδεση μπορεί να φτάσει μέχρι περίπου τρία μίλια μακριά από το κεντρικό δρομολογητή πράγμα που σημαίνει ότι πολλές αστικές και προαστιακές περιοχές δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν από DSL τεχνολογία. Η χρήση του καλωδίου έχει επίσης και τους περιορισμούς της<sup>26</sup>.

Πολλά παλιά ενσύρματα δίκτυα δεν είναι εξοπλισμένα με κανάλι επιστροφής και έτσι ο εκσυγχρονισμός αυτών μπορεί να είναι ιδιαίτερα ακριβός. Επίσης η επέκταση της καλωδιακής εγκατάστασης είναι αρκετά δύσκολη και ακριβή ειδικά σε περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει μεγάλη «πυκνότητα» χρηστών. Η προτυποποίηση της ασύρματης δικτύωσης με τη δημιουργία της υπηρεσίας Broadcasting μπορεί να λύσει όλα τα παραπάνω προβλήματα. Επίσης μπορεί να παρέχει επιπλέον μεγάλο bandwidth, ευελιξία και χαμηλό κόστος.

#### *Απομακρυσμένες περιοχές :*

Η ασύρματη τεχνολογία internet με τη χρήση της υπηρεσίας Broadcasting είναι μία φυσική επιλογή για απομακρυσμένες, αραιοκατοικημένες περιοχές. Σε αυτή τη κατεύθυνση έχουν αρχίσει να δουλεύουν πολλές κυβερνήσεις σε συνεργασία με WISP. Σύμφωνα με πρόσφατα στατιστικά περισσότεροι από 2.500 WISPs που εκμεταλλεύονται το χωρίς άδεια φάσμα (exempt-licensed spectrum) έχουν ανοιχτεί σε

---

<sup>26</sup> Μπακούλη Α., Κατσινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

περισσότερες από 6.000 αγορές στην ΗΠΑ<sup>27</sup>. Γενικά όμως σε διεθνές επίπεδο οι περισσότερες επεκτάσεις γίνονται στο νόμιμο φάσμα συχνοτήτων σε πελάτες που απαιτούν καλή ποιότητα μεταφοράς φωνής παρά δεδομένων. Αυτό συμβαίνει κυρίως συμβαίνει σε κάποιες περιοχές που δεν υπάρχει ενσύρματο δίκτυο. Υπάρχει η ορολογία “*Wireless Local Loop*” που χρησιμοποιείται για να περιγράψει όλες αυτές τις εφαρμογές που αναφέρονται στην αντικατάσταση του ενσύρματου δικτύου από το ασύρματο.

### **1.6 Ασφάλεια και Προκλήσεις του Broadcasting με Χρήση Wimax Έναντι του IEEE 802.11**

Την ασφαλή μετάδοση των δεδομένων στο WiMAX αναλαμβάνει ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης DES (Data Encryption Standard, Πρότυπο Κωδικοποίησης Δεδομένων) και συγκεκριμένα μια παραλλαγή του αλγορίθμου ο Triple DES. Το DES αναπτύχθηκε το 1970 από το Αμερικανικό Εθνικό Γραφείο Προτύπων. Η βασική ιδέα ήταν η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου κρυπτογράφησης που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί (και να βελτιωθεί) από διάφορες εταιρείες ή οργανισμούς. Το DES ανήκει στην οικογένεια των συμμετρικών αλγορίθμων και κάνει χρήση κλειδιών με μήκος 56 bit<sup>28</sup>.

Ο "κλασικός" αλγόριθμος DES είναι πλέον ξεπερασμένος, αφού με τη χρήση ενός σύγχρονου υπολογιστή μπορεί να παραβιαστεί σχετικά εύκολα. Στο μεταξύ, εφαρμόζοντας διάφορες τεχνικές επάνω στο DES, μπορούμε να αυξήσουμε σημαντικά την ασφάλειά του. Με τη μέθοδο Triple - DES, για παράδειγμα, το μήνυμα κωδικοποιείται τρεις φορές, με τρία διαφορετικά

---

<sup>27</sup> Ντάουλας Ν., Σύγκριση WiMAX και Βασικά Χαρακτηριστικά Wi-Fi, 2009

<sup>28</sup> Ντάουλας Ν., Σύγκριση WiMAX και Βασικά Χαρακτηριστικά Wi-Fi, 2009

κλειδιά κατά συνέπεια αυτό το πρότυπο αυξάνει την ασφάλεια του DES, καθώς χρησιμοποιεί τρία κλειδιά κρυπτογράφησης.

Αν και τα δύο πρότυπα μοιράζονται κάποια θεμελιώδη βασικά χαρακτηριστικά προσεγγίζουν το θέμα της ασύρματης δικτύωσης από δύο διαφορετικές οπτικές γωνίες. Τα δύο πρότυπα σχεδιάστηκαν για να εξυπηρετήσουν διαφορετικούς σκοπούς πράγμα που κάνει τη σύγκρουση τους σχεδόν αδύνατη. Μια σημαντική διαφορά του προτύπου IEEE 802.16 σε σχέση με το IEEE 802.11 είναι ότι το πρώτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνθήκες μη οπτικής επαφής φυσικά με ρυθμούς μετάδοσης πολύ χαμηλότερους των 50 Mbps<sup>29</sup>.

Το πρότυπο IEEE 802.16 παρέχει υψηλού επιπέδου ποιότητα υπηρεσίας. Το επίπεδο MAC του προτύπου είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει στους χρήστες, όταν οι ίδιοι το επιθυμούν, εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης και ταυτόχρονα κίνηση best effort σε χρήστες που καλύπτονται από το ίδιο base station κάτι που το πρότυπο IEEE 802.11 δεν μπορούσε να εξασφαλίσει. Δηλαδή, αν υποθέσουμε ότι δύο χρήστες καλύπτονται από το ίδιο base station, είναι δυνατό ο ένας χρήστης να έχει εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας και ο δεύτερος χρήστης να δέχεται και να στέλνει απλή IP κίνηση best effort κάτι που με το πρότυπο 802.11 δεν ήταν δυνατό. Δηλαδή χρήστες που βρισκόταν στην κάλυψη ενός Access Point είχαν την ίδια ποιότητα υπηρεσίας.

---

<sup>29</sup> Χρυσόγελος Π., Σχεδίαση, Προσομοίωση και Κατασκευή Τμήματος RF σε Πομπό WiMAX, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008

Η πιο θεμελιώδης διαφορά είναι ότι το WiFi είναι μια τεχνολογία για τοπική δικτύωση και σχεδιάστηκε για να δώσει μια κινητικότητα σε ιδιωτικά ενσύρματα LAN ενώ το WiMAX σχεδιάστηκε για να παρέχει BWA υπηρεσίες. Η ιδέα πίσω από τις BWA υπηρεσίες είναι η ασύρματη πρόσβαση στο internet χωρίς καλώδια και DSL τεχνολογίες. Έτσι λοιπόν ενώ το WiFi υποστηρίζει εύρος μετάδοσης μερικών εκατοντάδων μέτρων, τα WiMAX συστήματα μπορούν να υποστηρίξουν υπηρεσίες μεγαλύτερες των 30 μιλίων. Το παραπάνω επιχείρημα μπορεί μάλιστα να δικαιολογήσει γιατί δεν γίνεται τόσο μεγάλος λόγος στην αγορά για το WiMAX όσο για το WiFi, αφού το WiFi στοχεύει στο χρήστη ενώ το WiMAX χρησιμοποιείται σαν η κύρια αρτηρία μεταφοράς δεδομένων σε μακρινές αποστάσεις<sup>30</sup>.

Μια άλλη διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι το WiMax παρέχει συμμετρικό εύρος ζώνης για πολλά χιλιόμετρα και σειρά με την ισχυρότερη κρυπτογράφηση και συγκεκριμένα με τη λιγότερη παρέμβαση. Αντίθετα το πρότυπο IEEE 802.11 έχει την κρυπτογράφηση WEP ή WPA και δεν μπορεί να υπάρχει μεγάλη παρέμβαση σε περιοχές όπως αυτές όπου υπάρχουν πολλοί συνδεδεμένοι χρήστες. Επίσης οι δυναμικές ζώνες του προτύπου IEEE 802.11 είναι backhauled στο ADSL, επομένως η πρόσβαση WiFi είναι τυπικά υποστηριζόμενη και έχει πολύ μικρές upload ταχύτητες μεταξύ του δρομολογητή και του Διαδικτύου<sup>31</sup>.

---

<sup>30</sup> Μπακούλη Α., Κατσινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

<sup>31</sup> Χρυσόγελος Π., Σχεδίαση, Προσομοίωση και Κατασκευή Τμήματος RF σε Πομπό WiMAX, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008

Εκτός από αυτές τις διαφορές σχετικά με το εύρος μετάδοσης των δύο προτύπων, υπάρχουν αρκετές διαφορές στη ραδιοτεχνολογία που διακρίνουν τα δύο πρότυπα. Από τη μια πλευρά το WiMax αποτελείται από ένα πολύ μεγάλο εύρος πιθανών υλοποιήσεων για να μπορεί να παίξει το ρόλο του μεταφορέα σήματος σε ολόκληρο τον κόσμο και από την άλλη το WiFi περιγράφει 4<sup>wv</sup> τύπων ραδιοσυνδέσεις οι οποίες δουλεύουν στις συχνότητες 2.4 ή 5 GHz στη μη νόμιμη περιοχή. Και αυτό που είναι αξιόλογο να σημειωθεί εδώ, είναι ότι ενώ όλες οι υλοποιήσεις του WiFi χρησιμοποιούν μη νόμιμες συχνοτικές μπάντες, το WiMAX δουλεύει σε νόμιμες και μη, συχνοτικές μπάντες<sup>32</sup>. Επίσης τα πρότυπα WiFi και WiMAX έχουν και μία σημαντική διαφορά στο εύρος ζώνης των καναλιών. Το WiFi καθορίζει ένα σταθερό εύρος ζώνης καναλιού που είναι 25MHz για το 802.11b και 20MHz για τα 802.11a και 802.11g. Αντίθετα στο WiMAX, το εύρος ζώνης του καναλιού είναι προσαρμοστικό και κυμαίνεται από το 1.25MHz μέχρι τα 20MHz .

## **2. Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Συστήματα WiMAX και Ασύρματα Δίκτυα – Χαρακτηριστικά Λειτουργίας και Ιδιότητες**

### **2.1 Ποια η Λειτουργία Ενός Συστήματος WiMAX**

Θα πρέπει να σημειωθεί πως το WiMAX το οποίο ορίζεται διεθνώς ως *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, αποτελεί ουσιαστικά τη νεώτερη τεχνολογία για μια ασύρματη πρόσβαση με σχετικούς σταθερούς

---

<sup>32</sup> Μπακούλη Α., Κατσινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009



ρυθμούς μετάδοσης αλλά ευρείας ζώνης. Σχεδιάστηκε με τρόπο τέτοιο ώστε να καλύπτει κυρίως το σύστημα Point-to-Multipoint (PtM) συνδέσεις και το οποίο αναλύθηκε στο παραπάνω κεφάλαιο, χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για Point-to-Point (PtP) συνδέσεις<sup>33</sup>.

Είναι αναγκαίο επίσης να σημειωθεί πως τα σχετικά συστήματα WiMAX και τα οποία βασίζονται στο πρωτόκολλο *IEEE 802.16-2004* για μια σταθερή ευρυζωνική πρόσβαση, μπορούν και κάνουν χρήση των συχνοτήτων από τα 2 έως τα 11 GHz και καταφέρνουν με το τρόπο αυτό να πετύχουν ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 54 Mbps σε σχετικό επίπεδο MAC ή διαφορετικά 70 Mbps over the air. Επίσης, οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν ξεπερνούν βέβαια τα 50 χλμ και σε συνθήκες οπτικής επαφής. Επιπρόσθετα, με τη χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι δυνατές και οι συνδέσεις χωρίς καμία εξασφαλισμένη οπτική επαφή και υπό ορισμένες προϋποθέσεις. Η διαμόρφωση βέβαια και η οποία χρησιμοποιείται, είναι ουσιαστικά η OFDM ή διαφορετικά γνωστή ως *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*<sup>34</sup>.

---

<sup>33</sup> Μπουνάκης Γ., Χατζημίσιος Π., “Η Τεχνολογία WiMAX και η Σύγκρισή της με Άλλες Ασύρματες Τεχνολογίες”, Μελέτη Περίπτωσης, 2009

<sup>34</sup> Μπουνάκης Γ., Χατζημίσιος Π., “Η Τεχνολογία WiMAX και η Σύγκρισή της με Άλλες Ασύρματες Τεχνολογίες”, Μελέτη Περίπτωσης, 2009



Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί πως τον Δεκέμβριο του έτους 2005, το πρότυπο του IEEE 802.16-2004 τροποποιήθηκε από το IEEE 802.16e-2005. Το τελευταίο και μεταξύ άλλων, μπορεί και εισάγει καθώς και περιγράφει την έννοια της κινητικότητας των χρηστών από έναν σταθμό βάσης σε έναν άλλον. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό αυτό αποτελεί επίσης και τη βάση για την σχετική υλοποίηση του Mobile WiMAX στις μέρες μας. Η διαμόρφωση, η οποία χρησιμοποιείται, είναι αντίστοιχα εκείνη της SOFDMA ή διαφορετικά ως *Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access*.

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με την 5η Αναφορά για την Ευρυζωνικότητα του, η ευρυζωνική διείσδυση ανέρχεται στα επίπεδα του 6,84% την 1η Ιουλίου 2007. Το συνολικό μέγεθος ευρυζωνικών προσβάσεων ανέρχεται σε 760.698 παρουσιάζοντας αύξηση κατά 156,39% σε σχέση με το προηγούμενο έτος και κατά 56% σε σχέση με το προηγούμενο εξάμηνο. Η συντριπτική τους πλειοψηφία είναι τεχνολογίας ADSL, ενώ οι ονομαστικές ταχύτητες

πρόσβασης φτάνουν μέχρι και τα 8 Mbps. Παράλληλα, ορισμένοι Πάροχοι έχουν ήδη ξεκινήσει την διάθεση υπηρεσιών ADSL 2+<sup>35</sup>.

## **2.2 Για Ποιο Λόγο η Ασύρματη Δικτύωση Θεωρείται Καλύτερη στη Χρήση WiMAX**

Η χρήση του ασύρματου μέσου μετάδοσης στα WiMAX διαθέτει μια σειρά από πλεονεκτήματα τα οποία αναφέρονται ως ακολούθως :

### **➤ Κινητικότητα Χρήστη**

Οι χρήστες έχουν την ικανότητα να μετακινούνται εντός της εμβέλειας του ασύρματου δικτύου, δηλαδή σε χώρο στον οποίο θα έχουν επαρκές σήμα, διατηρώντας έτσι την συνδεσιμότητα τους με αυτό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μεγαλύτερη παραγωγικότητα και αποτελεσματικότητα στο εργασιακό περιβάλλον και όχι μόνο

### **➤ Ευκολία, Ευελιξία και Απλότητα Εγκατάστασης**

Δεν χρειάζεται κάποιος να εγκαταστήσει καλωδιώσεις μέσα από τοίχους και ταβάνια. Μπορεί να γίνει η δικτύωση σε μέρη όπου η καλωδίωση θα ήταν αδύνατη, ή μη επιθυμητή, όπως η δικτύωση γραφείων τα οποία βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους. Η εγκατάσταση στις περισσότερες των περιπτώσεων μπορεί να διεξαχθεί εύκολα αν ακολουθηθούν κάποιοι βασικοί κανόνες εγκατάστασης στη κάθε περίπτωση

### **➤ Κλιμάκωση, Δυνατότητα Επέκτασης**

---

<sup>35</sup> Μπουανάκης Γ., Χατζημίσιος Π., “Η Τεχνολογία WiMAX και η Σύγκρισή της με Άλλες Ασύρματες Τεχνολογίες”, Μελέτη Περίπτωσης, 2009

Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να διαρθρωθούν σε ένα πλήθος από τοπολογίες, έτσι ώστε να ταιριάζουν στις απαιτήσεις των διαφόρων εφαρμογών. Οι τοπολογίες αλλάζουν εύκολα αλλά και επεκτείνονται από απλά δίκτυα με μικρό αριθμό χρηστών, ως μεγάλες δομές δικτύων με εκατοντάδες χρήστες και δυνατότητα περιαγωγής, δηλαδή του *roaming*.

#### ➤ *Κόστος*

Παρά το γεγονός ότι το αρχικό κόστος εγκατάστασης θεωρείται υψηλότερο σε σχέση με τις λύσεις ενσύρματης δικτύωσης, το κόστος για όλη τη διάρκεια ζωής της επένδυσης μπορεί να είναι ιδιαίτερος μικρότερο, ιδιαίτερα σε δυναμικό περιβάλλον που απαιτεί συχνές αλλαγές, αναδιαρθρώσεις και μετακινήσεις. Επιπλέον το κόστος υλοποίησης - εγκατάστασης και συντήρησης - διαχείρισης του δικτύου είναι επίσης πολύ μικρό. Το σημαντικότερο μέρος του κόστους είναι η αγορά του εξοπλισμού. Επίσης με την εμφάνιση των περισσότερων κατασκευαστών και τον έντονο ανταγωνισμό μεταξύ τους το κόστος έχει μειωθεί αισθητά, ενώ παράλληλα οι συσκευές έχουν αποκτήσει περισσότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Έτσι, ενώ το 2000 ένα σημείο πρόσβασης - Access Point - είχε κόστος 1000-2000\$, τώρα έχει κόστος δέκα φορές μικρότερο κόστος. Μάλιστα τα περιθώρια κέρδους έχουν συμπιεστεί σε πολύ μεγάλο βαθμό για τους κατασκευαστές και προς όφελος βέβαια του κάθε καταναλωτή.

#### ➤ *Ταχύτητες Μετάδοσης*

Όσο περισσότερο αναπτύσσεται η τεχνολογία γίνεται δυνατή η μετάδοση μεγαλύτερων ρυθμών δεδομένων. Ήδη ο μέγιστος ρυθμός

μετάδοσης δεδομένων, από τα 2Mbps που μπορούσαν να επιτευχθούν αρχικά, έφτασε στις μέρες μας σε ταχύτητες πάνω από 100Mbps ενώ ήδη έχουν εξαγγελθεί ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες για το μέλλον.

➤ *Αξιοπιστία - Ανεξαρτησία*

Ένα ασύρματο δίκτυο το οποίο είναι κατάλληλα διαμορφωμένο μπορεί να διαθέτει μεγάλη αξιοπιστία. Έτσι μπορεί να σχεδιαστεί με απώτερο σκοπό να μπορεί να «εργάζεται» όταν συμβαίνουν διακοπές ρεύματος και να περιλαμβάνει πολλές εναλλακτικές διαδρομές έως οι υπηρεσίες φθάσουν στον χρήστη.

➤ *Εμβέλεια*

Η εμβέλεια ενός ασύρματου δικτύου σε ένα περιβάλλον γραφείου μπορεί να είναι μερικές δεκάδες μέτρα. Τα ραδιοκύματα σε κάθε εσωτερικό χώρο έχουν να διαπεράσουν τοίχους και οροφές οπότε υποκύπτουν σε μια σημαντική απόσβεση. Σε ανοικτό χώρο όπου υπάρχει οπτική επαφή ανάμεσα στις ασύρματες συσκευές, οι αποστάσεις οι οποίες μπορούν να καλυφθούν είναι μεγαλύτερες.

➤ *Συμβατότητα με το Υπάρχον Δίκτυο*

Τα περισσότερα ασύρματα δίκτυα διαθέτουν ένα προτυποποιημένο τρόπο σύνδεσης με τα υπάρχοντα ενσύρματα δίκτυα. Με το τρόπο αυτό, η προσθήκη ασύρματης δικτύωσης σε υπάρχουσες δομές δικτύων μπορεί να επιτευχθεί με τον ευκολότερο τρόπο. Πολλές φορές δε, αποτελούν και επέκταση ενός ενσύρματου δικτύου.

## **2.3 Κατηγορίες Ασυρμάτων Δικτύων**

### **2.3.1 Κατηγορία Ασύρματα Δίκτυα PAN**

Το προσωπικό δίκτυο (PAN) Bluetooth θεωρείται μια τεχνολογία η οποία επιτρέπει στα άτομα να δημιουργήσουν ένα δίκτυο Ethernet με ασύρματες συνδέσεις μεταξύ των φορητών υπολογιστών, κινητών τηλεφώνων και συσκευές χειρός<sup>36</sup>. Μπορεί επίσης κανείς να συνδέσει τους τύπους συσκευών με δυνατότητα Bluetooth, οι οποίες είναι συμβατές με προσωπικά δίκτυα όπως η συσκευή χρήστη προσωπικού δικτύου (PANU), συσκευή δικτύου ad hoc ομάδας (GN) ή συσκευή σημείου πρόσβασης σε δίκτυο (NAP).

Οι συσκευές PANU με δυνατότητα Bluetooth δημιουργούν ένα δίκτυο Ad-Hoc το οποίο συμπεριλαμβάνει τον υπολογιστή του κάθε ατόμου και τη συσκευή. Οι συσκευές GN με δυνατότητα Bluetooth δημιουργούν ένα δίκτυο ad-hoc το οποίο συμπεριλαμβάνει τον υπολογιστή του κάθε ατόμου, τη συσκευή GN και άλλες συσκευές PANU οι οποίες είναι όλες μαζί συνδεδεμένες με την ίδια συσκευή GN. Τέλος οι συσκευές NAP με δυνατότητα Bluetooth, επιτρέπει στα άτομα να συνδέσουν τον υπολογιστή τους σε ένα μεγαλύτερο δίκτυο, όπως σε ένα οικιακό δίκτυο, σε ένα εταιρικό δίκτυο ή στο Ίντερνετ απευθείας.

Το δεύτερο σημείο είναι το περιορισμένου φάσματος ραδιόφωνο στο οποίο υπάρχουν πολλές περιπτώσεις περιορισμένου φάσματος ψηφιακής επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών υπολογισμού και επικοινωνιών. Στις μέρες μας ένα μεγάλο μέρος αυτής της επικοινωνίας πραγματοποιείται χωρίς

---

<sup>36</sup> McCarthy, L., 1997, "Intranet Security", Prentice Hall

τη χρήση καλωδίων. Αυτά τα καλώδια συνδέονται με ένα πλήθος συσκευών χρησιμοποιώντας και με μια ευρεία ποικιλία των συνδέσμων, μεγεθών και αριθμού δικτύων τα οποία προσφέρουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα στους χρήστες.

### **2.3.2 Κατηγορία Ασύρματα Δίκτυα LAN**

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο υπό μορφή LAN επιτρέπει ουσιαστικά τη σύνδεση των υπολογιστών χωρίς καλώδια. Αν κάποιος για παράδειγμα σε μια επιχείρηση χρειάζεται ένα έγγραφο και βρίσκεται στην αίθουσα συσκέψεων, τότε μπορεί απλα με την ασύρματη σύνδεση LAN να το ανακτήσει από έναν άλλο υπολογιστή. Με ένα ασύρματο δίκτυο LAN κάτι τέτοιο καθιστάται ιδιαίτερος εύκολο, καθώς χρησιμοποιεί ραδιοκύματα για να επιτρέψει τη σύνδεση και την επικοινωνία κινητών συσκευών εντός μιας συγκεκριμένης εμβέλειας<sup>37</sup>. Τα πλεονεκτήματα της ασύρματης δικτύωσης LAN είναι βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα και αναφέρονται ως ακολούθως :

- *Ευκολία χρήσης.* Στις μέρες μας όλοι οι φορητοί υπολογιστές και πολλά κινητά τηλέφωνα είναι εξοπλισμένα με τεχνολογία Wi-Fi η οποία απαιτείται για απευθείας σύνδεση σε ένα ασύρματο δίκτυο LAN. Οι εργαζόμενοι μπορούν να συνδέονται με ασφάλεια στους πόρους του δικτύου της κάθε εταιρίας από οπουδήποτε εντός της εμβέλειας κάλυψης του δικτύου. Η περιοχή κάλυψης είναι κατά κανόνα οι

---

<sup>37</sup> Pfleeger, C., P., 1997, "Security in Computing", Prentice Hall

εγκαταστάσεις της επιχείρησής όπου εργάζονται, ωστόσο μπορεί να επεκτείνεται και σε περισσότερα κτίρια

- *Φορητότητα.* Οι εργαζόμενοι μπορούν να παραμένουν συνδεδεμένοι στο δίκτυο, ακόμα και όταν δεν βρίσκονται στο γραφείο τους εντός της επιχείρησης. Οι συμμετέχοντες σε συσκέψεις μπορούν να έχουν πρόσβαση σε έγγραφα και εφαρμογές ταυτόχρονα. Οι πωλητές μπορούν να εντοπίζουν στο δίκτυο σημαντικές λεπτομέρειες από οποιαδήποτε τοποθεσία και αν βρίσκονται.
- *Παραγωγικότητα.* Η πρόσβαση στις πληροφορίες και στις βασικές εφαρμογές της εταιρείας μπορεί να υποστηρίξει το προσωπικό κατά τη διεκπεραίωση των εργασιών και να ενθαρρύνει τη συνεργασία. Οι επισκέπτες όπως πελάτες, συνεργάτες ή προμηθευτές μπορούν επίσης να έχουν πρόσβαση υψηλής ασφαλείας στο Ίντερνετ και στα επιχειρηματικά δεδομένα τους.
- *Εύκολη ρύθμιση.* Εφόσον δεν απαιτείται η τοποθέτηση καλωδίων σε ένα χώρο, τότε η εγκατάσταση μπορεί να ολοκληρωθεί γρήγορα και οικονομικά. Τα ασύρματα δίκτυα LAN διευκολύνουν επίσης τη συνδεσιμότητα δικτύου σε κάποιους δυσπρόσιτους χώρους, όπως οι αποθήκες ή οι εγκαταστάσεις εργοστασιακής παραγωγής.
- *Δυνατότητα κλιμάκωσης.* Καθώς οι διάφορες επιχειρηματικές δραστηριότητές των επιχειρήσεων αναπτύσσονται, ενδεχομένως να απαιτείται άμεση επέκταση του δικτύου τους. Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν κατά κανόνα να επεκταθούν με τον υπάρχοντα εξοπλισμό, ενώ ένα ενσύρματο δίκτυο ενδέχεται να απαιτεί κάποια επιπλέον καλωδίωση.



- **Ασφάλεια.** Ο έλεγχος και η διαχείριση της πρόσβασης στο ασύρματο δίκτυο των επιχειρήσεων θεωρείται μέγιστης σημασίας για την επιτυχία τους. Οι εξελιγμένες δυνατότητες της τεχνολογίας Wi-Fi προσφέρουν μια ισχυρή προστασία, ώστε τα δεδομένα των επιχειρήσεων να είναι εύκολα προσβάσιμα μόνο από τους χρήστες στους οποίους επιτρέπεται η πρόσβαση.
- **Κόστος.** Μπορεί να αποδειχθεί οικονομικότερη η λειτουργία ενός ασύρματου δικτύου LAN, το οποίο εξαλείφει ή μειώνει το κόστος καλωδίωσης σε περιπτώσεις μετακόμισης, αναδιάταξης ή επέκτασης γραφείων της κάθε επιχείρησης

### **2.3.3 Κατηγορία Ασύρματα Δίκτυα WAN & MAN**

Ένα ασύρματο WAN ή διαφορετικά Wide Area Network θεωρείται ένα δίκτυο ασύρματων υπηρεσιών το οποίο λειτουργεί πέρα από ένα κτίριο και παρέχεται από κάποιον φορέα, όπως το φορέα κινητής τηλεφωνίας που χρησιμοποιείτε<sup>38</sup>. Σε ένα ασύρματο WAN, μπορεί κανείς να μεταβεί ασύρματα στο δίκτυο φωνητικών υπηρεσιών ή δεδομένων αντί να συνδέσει το *notebook* σε μια τηλεφωνική υποδοχή και να καλέσει τον αριθμό σύνδεσης στο Ίντερνετ ή να συνδεθεί σε ένα δημόσιο hot-spot. Σε ένα ασύρματο δίκτυο WAN, κάθε φορητή συσκευή επικοινωνεί με το σταθμό βάσης της υπηρεσίας παροχής.

Τα ασύρματα δίκτυα WAN θεωρούνται μια από τις πιο συνηθισμένες μορφές ενός ασύρματου δικτύου ευρείας περιοχής. Πολλοί άνθρωποι σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιούν τα κινητά τους τηλέφωνα για να συνδεθούν σε

---

<sup>38</sup> Adams, J., 1998, "The next world war", Simon and Schuster

κάποιο Δημόσιο Τηλεφωνικό Δίκτυο ή διαφορετικά Public Switched Telephone Network - PSTN. Οι διάφορες εταιρείες παροχής υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας έχουν επενδύσει αστρονομικά ποσά για τη δημιουργία μιας επικοινωνιακής δομής, η οποία θα μπορεί να συνδέσει τις κεραιές τους μέσω κάποιων κέντρων μεταγωγής κινητών τηλεπικοινωνιών σε κάποιο κεντρικό κόμβο και από εκεί στο αντίστοιχο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο.

Έχουν επίσης αναπτυχθεί πολλά πρότυπα για τις κινητές τηλεπικοινωνίες στην Ευρώπη και στις Ηνωμένες Πολιτείες, καθώς άλλα είναι προσανατολισμένα στην αναλογική και άλλα στην ψηφιακή τεχνολογία. Τέλος οι υπηρεσίες παροχής εγκαθιστούν δίκτυα σταθμών βάσης, παρόμοιους με τους σταθμούς κινητής τηλεφωνίας σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, παρέχοντας ουσιαστικά κάλυψη σε μεγάλες περιοχές, ακόμα και χώρες.

Σχετικά με τα ασύρματα δίκτυα MAN, θα ήταν χρήσιμο να αναφερθεί πως η ανάπτυξη των Μητροπολιτικών Δικτύων στην Περιφέρεια μιας χώρας θα μπορούσε να παρομοιαστεί με τη διάνοιξη μίας «Εθνικής Οδού» η οποία φέρνει την ευρυζωνικότητα σε κάθε σημείο του χάρτη. Ως Μητροπολιτικά Δίκτυα (MAN) ορίζονται τα ευρυζωνικά δίκτυα, τα οποία αναπτύσσονται κυρίως σε πόλεις και στα οποία συνδέονται χρήστες όπως δημόσιοι φορείς, επιχειρήσεις, πολίτες, κ.λπ. με τη χρήση Η/Υ ή άλλων ηλεκτρονικών μέσων σε κάποιες πολύ υψηλές ταχύτητες<sup>39</sup>. Τα ασύρματα αυτά δίκτυα χρησιμοποιούν συνήθως οπτικές ίνες και ασύρματες τεχνολογίες και το μέγεθός τους είναι μεγαλύτερο από τα τοπικά δίκτυα δηλαδή τα Local Area Networks - LAN και

---

<sup>39</sup> Barbeau Michel, "WiMax/802.16 Threat Analysis", Q2SWinet'05, Montreal, Quebec, Canada, October 2005

μικρότερο από τα δίκτυα ευρείας περιοχής όπως Wide Area Networks - WAN. Με δεδομένο ότι η έννοια των Μητροπολιτικών Δικτύων θεωρείται στενά συνυφασμένη με την ευρυζωνικότητα, θα μπορούσε κανείς να λάβει υπόψιν του αρχικά τα πλεονεκτήματα που προσφέρονται από αυτή και ακολούθως να επεκταθεί στα ασύρματα δίκτυα MAN.

#### **2.3.4 Σε Ποιες Περιπτώσεις δεν Χρειάζεται Ασύρματη Δικτύωση**

Η χρήση της ασύρματης τεχνολογίας σε καμία περίπτωση δεν παραγκωνίζει τις λύσεις της ενσύρματης δικτύωσης<sup>40</sup>. Οι δύο «οικογένειες» τεχνολογιών θεωρούνται συμπληρωματικές και όχι ανταγωνιστικές. Δεν θα λοιπόν πρέπει να γίνεται χρήση της ασύρματης τεχνολογίας στις ακόλουθες περιπτώσεις :

- Όταν ο χρήστης διαθέτει κατευθείαν εύκολη πρόσβαση στο ενσύρματο δίκτυο, για παράδειγμα αναφέρεται η σύνδεση ενός δύο υπολογιστών που βρίσκονται δίπλα δίπλα σε ένα γραφείο με ένα απλό *ethernet* καλώδιο
- Στις περιπτώσεις όπου ο χρήστης και η εφαρμογή απαιτεί αρκετά μεγάλο ρυθμό μετάδοσης, όπου δεν μπορεί να καλυφθεί από το ασύρματο δίκτυο. Έτσι για παράδειγμα εάν κάποιος επιθυμεί μια διασύνδεση με ρυθμό 1Gbps, μπορεί να την υλοποιήσει με πολύ χαμηλό κόστος με συσκευές οι οποίες υποστηρίζουν *Gigabit Ethernet* και την κατάλληλη καλωδίωση. Η ασύρματη τεχνολογία δεν προβλέπεται να φτάσει ποτέ αυτές τις ταχύτητες. Επιπρόσθετα, ήδη

---

<sup>40</sup> Adams, J., 1998, "The next world war", Simon and Schuster

έχουν κυκλοφορήσει λύσεις ενσύρματης δικτύωσης οι οποίες φτάνουν στα 10Gbps αν και δεν είναι κοινή ακόμα η χρήση τους<sup>41</sup>.

- Σε δίκτυα τα οποία απαιτούν μεγάλο βαθμό ασφαλείας, οι ενσύρματες λύσεις είναι σαφώς καλύτερες. Σε ένα καλώδιο το οποίο θεωρείται ήδη προστατευμένο κάτω από ψευδοπατώματα, δεν είναι δυνατή η φυσική πρόσβαση στο καλώδιο προκειμένου να γίνει υποκλοπή. Αντίθετα, στην περίπτωση κάποιας ασύρματης υλοποίησης, επειδή δεν είναι δυνατό να περιορίσει κανείς τα ραδιοκύματα, είναι εύκολο να γίνει ανίχνευση της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Σε περίπτωση δε όπου η πληροφορία δεν είναι κωδικοποιημένη μπορεί να διεξαχθεί ανάκτηση της. Για μπορέσουν όμως να φτάσουν σε παρόμοιο βαθμό ασφαλείας τα ασύρματα δίκτυα, θα πρέπει να εφαρμοστούν σε αυτά περίπλοκες τεχνικές αυθεντικοποίησης και κωδικοποίησης και μάλιστα σε ένα επίπεδο εφαρμογής. Άλλωστε αυτός είναι και ένας από τους λόγους που δεν χρησιμοποιούνται σε κρίσιμες στρατιωτικές εφαρμογές οι συμβατικές ασύρματες τεχνολογίες, για παράδειγμα επικοινωνία συσκευών, εφαρμογών, προσωπικού, σε ένα πολεμικό πλοίο ή εντός μιας στρατιωτικής βάσης.
- Σε περιοχές οι οποίες έχουν μεγάλο ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα κάποιες προβληματικές και μη αξιόπιστες συνδέσεις.

## **2.4 Η Οικογένεια Πρωτοκόλλων 802.11**

### **2.4.1 Το Πρωτόκολλο 802.11**

---

<sup>41</sup> Adams, J., 1998, *"The next world war"*, Simon and Schuster

Όπως αναφέρθηκε και στις παραπάνω σελίδες, η οικογένεια πρωτοκόλλων 802.11 περικλείει πολλαπλά και διαφορετικά πρωτόκολλα. Τα τελευταία γράμματα (δηλαδή τα 802.11a) υποδεικνύουν τις διάφορες ταχύτητες και ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται οι οποίες αναφέρονται στον ακόλουθο πίνακα<sup>42</sup> :

<b>Πρότυπο</b>	<b>Ταχύτητα</b>	<b>ζώνη</b>	<b>ζώνη</b>	<b>Λεπτομέρειες</b>
		<b>2,5 GH</b>	<b>5 GHz</b>	
802.11	1-2 Mbps	X		Αυτό το πρότυπο είναι παλαιότερο και τα περισσότερα προϊόντα στην αγορά δεν το υποστηρίζουν.
802.11a	54 Mbps		X	Αυτή τη στιγμή, κυκλοφορούν στην αγορά ορισμένα προϊόντα που χρησιμοποιούν αυτό το πρότυπο, αλλά δεν είναι συμβατά με οποιαδήποτε από τα προϊόντα που χρησιμοποιούν τη συχνότητα των 2,5 GHz. Ως αποτέλεσμα, δεν είναι συμβατά με τον εξοπλισμό 802.11b που ίσως χρησιμοποιείτε.
802.11b (11 Mbps)	11 Mbps	X		Τα ασύρματα προϊόντα πρόσβασης των 11 Mbps χρησιμοποιούν αυτό το πρότυπο. Αυτά τα προϊόντα είναι ιδιαίτερα προσιτά

<sup>42</sup> Pfleeger, C., P., 1997, "Security in Computing", Prentice Hall

				και συμβατά με τα προϊόντα 802.11b που κατασκευάζονται από άλλες εταιρείες.
802.11b (22 Mbps)	22 Mbps	X		Τα ασύρματα προϊόντα πρόσβασης των 22 Mbps είναι συμβατά με το πρότυπο 802.11b (στα 11 Mbps) και είναι συμβατά με το πρότυπο 802.11g (στα 54/100/125 Mbps). Τα προϊόντα των 22 Mbps είναι συμβατά με τις παλαιότερες και τις νεότερες εκδόσεις αυτών των προτύπων. Όταν χρησιμοποιούνται με τα προϊόντα των 11 Mbps, αυτά τα προϊόντα σας δίνουν ένα ισχυρότερο σήμα, μεγαλύτερο εύρος και 70% μεγαλύτερο χώρο κάλυψης.
802.11g	54 Mbps	X		Τα ασύρματα προϊόντα πρόσβασης των 54 Mbps είναι συμβατά με το πρότυπο 802.11b (στα 11 και τα 22 Mbps) και είναι συμβατά με τα ασύρματα προϊόντα πρόσβασης των 100/125 Mbps. Αν έχετε προϊόντα 22 Mbps 802.11b, θα έχετε τη δυνατότητα να προσθέσετε προϊόντα 802.11g χωρίς να χρειαστεί να αντικαταστήσετε τον τρέχοντα εξοπλισμό σας.
802.11g	100/125	X		Τα ασύρματα προϊόντα πρόσβασης των

(Wireless Turbo)	Mbps			100/125 Mbps είναι συμβατά με το πρότυπο 802.11g (στα 100 και τα 54 Mbps) και με το 802.11b (στα 11 και τα 22 Mbps). Αν έχετε προϊόντα 22 Mbps 802.11b ή προϊόντα 802.11g στα 54 Mbps, θα έχετε τη δυνατότητα να προσθέσετε προϊόντα 802.11g χωρίς να χρειαστεί να αντικαταστήσετε τον τρέχοντα εξοπλισμό σας.
802.11g (Wireless MAXg)	125 Mbps	X		Τα ασύρματα προϊόντα πρόσβασης των 125 Mbps είναι συμβατά με το πρότυπο 802.11g (στα 125 και τα 54 Mbps) και με το 802.11b (στα 11). Αν έχετε προϊόντα 802.11b ή προϊόντα 802.11g στα 54 Mbps, θα έχετε τη δυνατότητα να προσθέσετε προϊόντα Wireless MAXg 802.11g χωρίς να χρειαστεί να αντικαταστήσετε τον τρέχοντα εξοπλισμό σας.

Η 802.11 θεωρείται μια οικογένεια προτύπων η οποία περιγράφει τη λειτουργία των ασύρματων τοπικών δικτύων όπως WLAN ή Wireless Local Access Network. Περιγράφονται τα δύο πρώτα επίπεδα του O.S.I., δηλαδή το φυσικό επίπεδο PHY - Physical Layer και το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων όπως MAC - Medium Access Control. Τα πρωτόκολλα αυτά δημοσιεύονται

από την IEEE γεγονός που είναι σημαντικό για την διαλειτουργικότητα, δηλαδή την ικανότητα συνεργασίας των συσκευών που το ακολουθούν.

Η IEEE 802.11 περιγράφει μόνο τα δύο κατώτερα επίπεδα του OSI, επιτρέποντας έτσι σε οποιαδήποτε εφαρμογή να μπορεί να εργάζεται πάνω σε συσκευή 802.11 όπως ακριβώς θα εργαζόταν πάνω από *Ethernet*. Οι συσκευές 802.11 δηλαδή μπορούν και μεταφέρουν διαφανώς την πληροφορία από τα πιο πάνω επίπεδα του OSI. Το έτος 1997, μετά από επτά χρόνια μελέτης, η IEEE δημοσίευσε επιτέλους το πρότυπο IEEE 802.11, το πρώτο πρότυπο για την ασύρματη δικτύωση. Το πρότυπο αυτό προβλέπει ρυθμούς μετάδοσης 1 και 2 Mbps. Η μετάδοση γίνεται με ασύρματο τρόπο με χρήση διαμόρφωσης FHSS ή DSSS σε ζώνες συχνοτήτων 915MHz, 2.4GHz, 5.2GHz ή υπέρυθρη μετάδοση στα 850nm ως 900nm<sup>43</sup>. Υποστηρίζει επίσης δυνατότητες όπως την προτεραιοποίηση της κίνησης, υποστήριξη εφαρμογών πραγματικού χρόνου και διαχείριση ισχύος συσκευής. Το πρότυπο γνώρισε βέβαια περιορισμένη επιτυχία λόγω των πολύ χαμηλών ρυθμών μετάδοσης.

#### **2.4.2 Το Πρωτόκολλο 802.11b**

Το πρωτόκολλο 802.11b αναπτύχθηκε το έτος 1999 και αποτελεί μια επέκταση στο αρχικό πρότυπο. Συγκεκριμένα υποστηρίζει τη μετάδοση επιπλέον σε ρυθμούς 5.5 και 11Mbps με κωδικοποίηση CCK -

---

<sup>43</sup> Pfleeger, C., P., 1997, "Security in Computing", Prentice Hall



Complementary Code Keying. Μια δεύτερη κωδικοποίηση, η PBCC - Packet Binary Convolutional Code ορίστηκε για προαιρετική υλοποίηση υποστηρίζοντας μετάδοση 5.5 και 11Mbps και έχοντας βέβαια ελαφρά καλύτερη ευαισθησία δέκτη με αντίτιμο την πολυπλοκότητα. Η μετάδοση τους γίνεται στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz Είναι το πιο δημοφιλές από όλα τα πρότυπα και το πρότυπο με τη μεγαλύτερη διαλειτουργικότητα, όντας ένα στιβαρό, αποτελεσματικό και δοκιμασμένο πρότυπο.

Οι προσθήκες της 802.11b και σε σχέση με την 802.11 αφορούν μόνο τον τρόπο μετάδοσης, ενώ ο τρόπος πρόσβασης των συσκευών και οι τρόποι λειτουργίας μένουν οι ίδιοι. Μια συσκευή η οποία εργάζεται ακολουθώντας το 802.11b, υλοποιεί και τους τρόπους μετάδοσης του 802.11 και έτσι μπορεί να θεωρείται συμβατή με αυτό. Αυτή η ιδιότητα ονομάζεται συμβατότητα προς τα πίσω, δηλαδή ότι οι καινούργιες συσκευές θα μπορούν να συνεργαστούν και με παλιότερες, προκειμένου να μην αναγκαστεί ο καταναλωτής να αλλάξει εξ ολοκλήρου τον εξοπλισμό του για ένα ασύρματο δίκτυο.

Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί πως το δίκτυο 802.11b ή WI-FI παρέχει μετάδοση 11 Mbps στη ζώνη 2.4 GHz. Δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί με το 802.11a εντούτοις. Προσφέρει πρόσβαση σε κάποια δεδομένα σε απόσταση μέχρι τα 100 μέτρα από το σταθμό βάσης. Η ισχύς που ορίζει το στάνταρτ στις εξόδους κεραίας των εμπορικών συσκευών είναι τα 0.2mw. Στο αρχικό πρωτόκολλο του 802.11, καθορίζονται δύο τρόποι κωδικοποίησης, ο

FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum) και ο DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum<sup>44</sup>.

### **2.4.3 Το Πρωτόκολλο 802.11a**

Το έτος 1999 δημιουργήθηκε η επέκταση στο αρχικό πρότυπο που προβλέπει τη μετάδοση στη ζώνη συχνοτήτων U-NII των 5GHz με ρυθμούς μετάδοσης 1, 2, 5.5, 11, 6, 12, 24 Mbps και προαιρετικά 36, 48, 54 Mbps χρησιμοποιώντας τη OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing) διαμόρφωση<sup>45</sup>. Η επέκταση αυτή αποσκοπούσε να καλύψει την άμεση ανάγκη για μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης. Επιλέχθηκε λοιπόν η λειτουργία σε μια υψηλότερη ζώνη συχνοτήτων, αφενός για να καταστεί δυνατόν να υποστηριχθούν οι μεγαλύτεροι ρυθμοί και αφετέρου ώστε να μην υπάρχει παρεμβολή από τις προηγούμενες συσκευές.

Οι αντίστοιχες βέβαια συσκευές είναι ασύμβατες με αυτές που εργάζονται με το 802.11b, αφού ο τρόπος μετάδοσης τους αλλά και οι ραδιοσυχνότητες που χρησιμοποιούνται είναι διαφορετικές. Το πρωτόκολλο 802.11a μπορεί και παρέχει μια μετάδοση μέχρι 54 Mbps στη ζώνη των 5GHz καθώς και λιγότερο δυναμικό για παρεμβολή σε ραδιοσυχνότητα από το 802.11b και το 802.11g. Σε σχετικά μικρότερη εμβέλεια και περίπου τα 60 μέτρα από το 802.11b καθώς επίσης δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα με το 802.11b<sup>46</sup>.

---

<sup>44</sup> McCarthy, L., 1997, *"Intranet Security"*, Prentice Hall

<sup>45</sup> Pfleeger, C., P., 1997, *"Security in Computing"*, Prentice Hall

<sup>46</sup> Pfleeger, C., P., 1997, *"Security in Computing"*, Prentice Hall

#### **2.4.4 Το Πρωτόκολλο 802.11g**

Το πρωτόκολλο 802.11g παρέχει μια μετάδοση μέχρι 54 Mbps και τυπικά στα 22 Mbps στη ζώνη 2.4 GHz. Θεωρείται ότι είναι ουσιαστικά ο διάδοχος του και συμβατός με το 802.11b. Προσφέρει μια πρόσβαση υψηλής ταχύτητας σε δεδομένα σε απόσταση μέχρι 100 μέτρα από το σταθμό βάσης. Το πρωτόκολλο 802.11g αποτελεί επέκταση στο 802.11b ώστε να υποστηρίζει μεγαλύτερους ρυθμούς. Με το τρόπο αυτό και εκτός από τους ρυθμούς μετάδοσης του 802.11b, με CCK διαμόρφωση, μπορεί και υποστηρίζει και ρυθμούς μέχρι 54Mbps χρησιμοποιώντας την OFDM διαμόρφωση. Οι αντίστοιχες συσκευές εργάζονται στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz, διατηρώντας έτσι την συμβατότητα προς τα πίσω με το 802.11b<sup>47</sup>.

Κάποια προϊόντα wireless είναι βασισμένα στο πρωτόκολλο 802.11g στα 54Mbps, το νέο standard ασύρματης δικτύωσης το οποίο είναι σχεδόν 5 φορές ταχύτερο από το παλαιότερο μοντέλο 802.11b. Καθώς όμως με το παλαιότερο αυτό πρωτόκολλο μοιράζονται την ίδια συχνότητα στα 2.4GHz, οι ασύρματες συσκευές μπορούν να συνεργαστούν και με εξοπλισμό 802.11b στα 11Mbps. Το 802.11g επιτρέπει σε κάποιον να συνδέσει συσκευές wireless στο δίκτυο. Καθώς και τα δύο standards είναι ενσωματωμένα, μπορεί κάποιος να προστατεύει την επένδυσή του σε υφιστάμενη υποδομή 802.11b, και να ενοποιεί τους clients του δικτύου στο νέο, ταχύτερο standard Wireless καθώς οι ανάγκες του μεγαλώνουν.

---

<sup>47</sup> Σταμάτης, Κ., Ν., 2002, «*Η Αβέβαιη Κοινωνία της Γνώσης*», Εκδόσεις Σαββάλας

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί πως για την προστασία του κάθε δικτύου, το 802.11g μπορεί να κρυπτογραφήσει όλες τις ασύρματες μεταδόσεις δεδομένων και να υποστηρίζει το εργοστασιακό πρότυπο ασφαλείας WPA. Το φίλτρο MAC διευθύνσεων επιτρέπει στους χρήστες να επιλέξουν ποιος θα έχει πρόσβαση στο ασύρματο δίκτυο. Η παραμετροποίηση γίνεται πολύ απλά, με το εργαλείο παραμετροποίησης που είναι βασισμένο σε μονάδα web.

#### **2.4.5 Πρωτόκολλο 802.11h**

Το πρωτόκολλο 802.11h είναι ένα πρότυπο, συμπληρωματικό του IEEE 802.11 και συμβατό με τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς. Προσθέτει έναν σωστό έλεγχο της ισχύος της μετάδοσης και επιλογή δυναμικής συχνότητας. Η ιδιότητα του δικτύου 802.11h+d βέβαια ρυθμίζει τις παραμέτρους προηγμένου ελέγχου ραδιοεπικοινωνίας της κάρτας wireless WLAN του κάθε υπολογιστή μέσω συνδεδεμένου ρούτερ / AP<sup>48</sup>. Τα στοιχεία ελέγχου ενεργοποιούνται φυσικά όταν η ιδιότητα 802.11h+d έχει ρυθμιστεί σε θέση "Χαλαρή 11h", "Χαλαρή 11h+d", ή "Βασική 11h". Όταν η ρύθμιση είναι "Βασική 11h", η κάρτα wireless WLAN του υπολογιστή συνδέεται μόνο σε σημεία πρόσβασης που υποστηρίζουν πρωτόκολλα IEEE 802.11h κατά τη λειτουργία και σε περιοχές με ειδικούς περιορισμούς όσον αφορά τις ραδιοεπικοινωνίες.

Όταν η ρύθμιση είναι "Βασική 11h", ο προσαρμογέας της κάρτας δεν περιορίζει τις συνδέσεις βάσει της υποστήριξης ασύρματου μεταξύ ρούτερ/AP IEEE 802.11h. Όταν τέλος η ρύθμιση είναι "Βασική 11h+d", ο

---

<sup>48</sup> Pflieger, C., P., 1997, "Security in Computing", Prentice Hall

προσαρμογέα της κάρτας δεν περιορίζει τις συνδέσεις βάσει του ασύρματου ρούτερ/AP IEEE 802.11h ή IEEE 802.11d της υποστήριξης<sup>49</sup>.

#### **2.4.6 Πρωτόκολλο 802.11c,d,f**

Το πρωτόκολλο 802.11c,d,f διαχωρίζονται με βάση το βαθμό λειτουργιών τους και αναφέρονται ως ακολούθως :

- *Πρωτόκολλο 802.11c το οποίο έχει ως σκοπό τη λειτουργία γεφύρωσης (bridging) πλαισίων 802.11*
- *Το πρωτόκολλο 802.11d το οποίο λειτουργεί με επεκτάσεις στο πρότυπο ώστε να λειτουργεί σε επιπλέον ρυθμιστικά πλαίσια δηλαδή άλλες ζώνες συχνότητας*
- *Το πρωτόκολλο 802.11f το οποίο αποτελεί μια συνιστώμενη πρακτική για το πρωτόκολλο IAPP - Inter Access Point Protocol*

#### **2.4.7 Πρωτόκολλο 802.11i**

Το πρωτόκολλο 802.11i εμπλουτίζει ουσιαστικά το υπόστρωμα MAC προκειμένου να αντιμετωπίσει τα ζητήματα ασφαλείας που σχετίζονται με το Wired Equivalent Privacy (WEP)<sup>50</sup>. Οι αλγόριθμοι της κρυπτογράφησης που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας, όπως ο WEP - Wired Equivalent Privacy, ο WPA - Wi-Fi Protected Access και IP SEC παρουσιάζουν κάποια σημαντικά προβλήματα. Για παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί πως ο πρώτος εμφανίζει σημαντικά κενά ασφαλείας, ο WPA ενώ έρχεται να καλύψει τα κενά του WEP,

---

<sup>49</sup> Σταμάτης, Κ., Ν., 2002, «*Η Αβέβαιη Κοινωνία της Γνώσης*», Εκδόσεις Σαββάλας

<sup>50</sup> Σταμάτης, Κ., Ν., 2002, «*Η Αβέβαιη Κοινωνία της Γνώσης*», Εκδόσεις Σαββάλας

στην πραγματικότητα δεν καλύπτει την ουσιαστική ασφάλεια στα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Τέλος, ο IP SEC εφαρμόζεται τοπικά σε κάθε χρήστη και καλύπτει *Point-to-Point* συνδέσεις.

Το υπάρχον βέβαια πρότυπο πρωτόκολλο 802.11 προδιαγράφει τη χρήση σχετικά αδύναμων, στατικών κρυπτογραφικών κλειδιών χωρίς καμία απολύτως μορφή διαχείρισης της κατανομής των κλειδιών. Αυτό προσφέρει τη δυνατότητα σε *hackers* να αποκτήσουν σημαντική πρόσβαση και να αποκρυπτογραφήσουν δεδομένα του ασύρματου δικτύου (WLAN) τα οποία έχουν κρυπτογραφηθεί με τον αλγόριθμο WEP. Η ομάδα αναθεώρησης του 802.11i θα προσπαθήσει να αντικαταστήσει το WEP και την υποστήριξή του σε συσκευές, αρχικά με την δημιουργία ενός ανώτερου πρωτοκόλλου ασφαλείας και προς τα πίσω συμβατό με το WEP, και τελικά με την πλήρη κατάργησή του.

## **2.5 Πρωτόκολλο IEEE 802.16e-2005 – WiMAX και Σύστημα (S) OFDMA**

Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως το σχετικό πρωτόκολλο IEEE 802.16e-2005 μπορεί και βελτιώνεται με το πρωτόκολλο 802.16-2004 με τις εξής τροποποιήσεις:

- *Διαβάθμιση του συστήματος FFT (Fast Fourier Transform) στο εύρος ζώνης (bandwidth) των καναλιών, ώστε να διατηρείται σταθερο το επίπεδο μεταφοράς δια μέσου καναλιών διαφορετικού εύρους.(1.25 -20 MHz).*

Επίσης, θα πρέπει να σημειωθεί πως τα συνεχή κενά της μεταφοράς μπορούν και οδηγούν σε ακόμη ένα υψηλότερο φάσμα αποδοτικότητας σε

ευρεία κανάλια, καθώς και σε μείωση του κόστους στα πιο στενά κανάλια. Είναι γνωστό επίσης σαν Scalable OFDMA ή διαφορετικά ως SOFDMA<sup>51</sup>. Ως ακολούθως επίσης, παρατείνονται οι σχετικές συνεισφορές του πρωτοκόλου IEEE 802.16e-2005 στη βελτίωση του 802.16-2004 και για χρήση του Scalable OFDMA ως εξής.

- Βελτίωσε την κάλυψη χρησιμοποιώντας εξελιγμένες κεραιές, τοποθετημένες σε ποικίλους συνδυασμούς.
- Βελτίωσε την κάλυψη εισάγοντας συστήματα κεραιών πολλαπλής εισόδου και πολλαπλής εξόδου (*Multiple Input Multiple Output - MIMO*).
- Βελτίωσε την ικανότητα του να διεισδύει καλύτερα σε εσωτερικούς χώρους.
- Χρησιμοποίησε νέες τεχνολογίες κωδικοποίησης όπως *Turbo Coding* και *Low-Density Parity Check (LDPC)*, αυξάνοντας έτσι την ασφάλεια.
- Έδωσε τη δυνατότητα στους *administrators* να εναλλάσσουν την κάλυψη για τη δυναμικότητα και το αντίστροφο.
- Ο νέος αλγόριθμος *FFT* επιτρέπει μεγαλύτερες καθυστερήσεις στη μεταφορά δεδομένων κι έτσι είναι περισσότερο ανθεκτικό σε αρεμβολές πολλών διαφορετικών μονοπατιών στη μεταφορά δεδομένων.
- Αύξησε την ποιότητα, ευνοώντας έτσι τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου, μετατρέποντας το έτσι στο πλέον κατάλληλο για εφαρμογές *VoIP*.

---

<sup>51</sup> Μπούζη Χ., "Μελέτη εξυπηρέτησης εσωτερικού χώρου από ασύρματες υπηρεσίες ευρυζωνικού *internet (Wi-Fi)*. Ανάπτυξη και σχεδιασμός με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού", Αθήνα, 2008.

- *Αύξησε την υποστήριξη για κινητικότητα των συνδρομητών, κάτι το οποίο αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά σημεία του πρωτοκόλλου 802.16-2005 και είναι πολύ βασικό για την εξέλιξη του Mobile WiMax.*

Θα πρέπει αντίστοιχα να σημειωθεί πως οι πωλητές του πρωτοκόλλου 802.16d τονίζουν λεπτομερώς το γεγονός πως το 802.16-2004 μπορεί και προσφέρει το προνόμιο κάποιων διαθέσιμων προϊόντων για σταθερή πρόσβαση αντίστοιχα. Θεωρείται αρκετά γνωστό μεταξύ των διαφόρων και εναλλακτικών παρόχων αλλά και τελεστών σε τομείς που αναπτύσσονται εξαιτίας του χαμηλού του κόστους ανάπτυξης καθώς και της απόδοσης του σε σταθερό περιβάλλον. Το πρωτόκολλο 802.16-2004 είναι επίσης ένα άκρως δυναμικό πρωτόκολλο για τη διαδικασία του backhaul ασύρματων των βασικών σταθμών και όπως συμβαίνει και στην κινητή τηλεφωνία αλλά και στο WiFi όπως και στο mobile WiMAX.

Αποτελεί τέλος γεγονός πως το SOFDMA και το οποίο χρησιμοποιείται στο 802.16e-2005 αλλά και στο OFDM στο πρωτόκολλο 802.16d, δεν θεωρούνται να είναι συμβατά και έτσι λοιπόν όλος ο εξοπλισμός θα πρέπει να αλλάζει όταν βέβαια ένας χειριστής θελήσει να χρησιμοποιήσει το παλιότερο πρωτόκολλο αντί για το νεότερο. Ωστόσο θα πρέπει να σημειωθεί πως υπάρχουν κατασκευαστές οι οποίοι σχεδιάζουν να δημιουργήσουν συστήματα τα οποία είναι συμβατά με το SOFDMA αλλά και με παλιότερα πρωτόκολλα. Έτσι λοιπόν θα μπορεί να γίνεται με πιο εύκολο τρόπο η μετάβαση των δικτύων και τα οποία έχουν ήδη επενδύσει στο σύστημα OFDM. Αυτή η



δυνατότητα θα επηρεάσει αντίστοιχα ένα μικρό σχετικά αριθμό χρηστών και χειριστών<sup>52</sup>.

## **2.6 QoS – Παροχή Υψηλής Ποιότητας Υπηρεσιών και WiMAX**

Αποτελεί γεγονός πως η παροχή της υψηλής ποιότητας υπηρεσιών όπως για παράδειγμα η μεταφορά της φωνής, θεωρείται εξαιρετικά σημαντική με σκοπό την υιοθέτηση αλλά και την εξάπλωση του προτύπου WiMAX. Για αυτό ακριβώς το λόγο, το σχετικό υποπρότυπο 802.16a συμπεριλαμβάνει αντίστοιχα κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τα οποία κάνουν δυνατή τη μεταφορά φωνής αλλά και βίντεο και με σκοπό να είναι εφικτή αυτή η συγκεκριμένη μεταφορά και η οποία χρειάζεται ένα χαμηλού φόρτου δίκτυο. Θα πρέπει να σημειώσουμε αντίστοιχα ότι τα χαρακτηριστικά του *Medium Access Control (MAC)* του προτύπου WiMAX 802.16a προσφέρουν τη δυνατότητα σε ένα συγκεκριμένο χειριστή και για να παρέχει ταυτόχρονα υπηρεσίες σε αντίστοιχες επιχειρήσεις με υπηρεσίες τύπου τεχνολογίας του T1 και σε σπίτια με υπηρεσίες τύπου καλωδιακής επικοινωνίας χρησιμοποιώντας τον ίδιο σταθμό βάσης<sup>53</sup>.

### **2.6.1 802.16 Ασφάλεια WiMAX**

Η ασφάλεια για το πρωτόκολλο WiMAX είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στην ανάπτυξη ενός πρότυπου αντίστοιχα. Η μυστικότητα αλλά και η κρυπτογράφηση είναι από τα πλέον βασικά χαρακτηριστικά του προτύπου

---

<sup>52</sup> Μπούζη Χ., “Μελέτη εξυπηρέτησης εσωτερικού χώρου από ασύρματες υπηρεσίες ευρυζωνικού internet (Wi-Fi). Ανάπτυξη και σχεδιασμός με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού”, Αθήνα, 2008

<sup>53</sup> Δουλγέρη Χ., Κεμαλής Κ., Μακροβασίλης Α., Ασφάλεια στο Πρότυπο IEEE 802.16 (WiMAX), Αθήνα, 2006

στο IEEE 802.16 και για ασφαλή μεταφορά πληροφορίας. Η ασφάλεια αντίστοιχα του προτύπου 802.16 βασίζεται στην κρυπτογράφηση δεδομένων αλλά και στην αυθεντικοποίηση. Το θέμα της ασφάλειας δεν είναι κάτι στατικό αλλά μεταβάλλεται συνεχώς με βάση κάθε φορά τα νέα δεδομένα και προβλήματα<sup>54</sup>.

### 2.6.2 Χαρακτηρισμός Καναλιού WiMAX

θα πρέπει να σημειωθεί πως το πρωτόκολλο WiMAX μπορεί να παρέχει δύο είδη ασύρματων υπηρεσιών και τα οποία σημειώνονται ως εξής:

- Υπάρχει η δυνατότητα της εξυπηρέτησης της συγκεκριμένη περίπτωσης *Line-Of-Sight* - LOS, όπου μία σταθεροποιημένη κεραία μπορεί και δείχνει απευθείας στον πύργο WiMAX από κάποια στέγη ή άλλο υπερυψωμένο σημείο. Η σχετική LOS σύνδεση είναι πιο δυνατή και σταθερή και για αυτό μπορεί να μεταδίδει σημαντικό μέγεθος δεδομένων χωρίς πολλά λάθη.
- Υπάρχει επίσης η περίπτωση *Non-Line-Of-Sight* - NLOS, ένα είδος υπηρεσίας σαν το Wi-Fi, όπου μία μικρή κεραία στον προσωπικό υπολογιστή συνδέεται σε έναν πύργο. Σε αυτή την περίπτωση, το σύστημα WiMAX μπορεί και χρησιμοποιεί ένα φάσμα χαμηλότερης συχνότητας της τάξης των 2 GHz με 11 GHz (παρόμοιο με το Wi-Fi). Μεταδόσεις χαμηλότερης κυματομορφής δεν είναι τόσο εύκολο να διακοπούν από φυσικά εμπόδια – μπορούν πολύ πιο εύκολα να διαθλαστούν ή να παρακάμψουν εμπόδια. Όταν βέβαια ζητείται η

---

<sup>54</sup> Δουλγέρη Χ., Κεμαλής Κ, Μακροβασίλης Α., Ασφάλεια στο Πρότυπο IEEE 802.16 (WiMAX), Αθήνα, 2006

ασύρματη ζεύξη μεταξύ δύο σημείων είναι βασικό να γνωρίζει κανείς αν τα σημεία αυτά βρίσκονται σε συνθήκες LOS ή NLOS.

Θα πρέπει όμως αντίστοιχα να σημειωθεί πως σε μια LOS ζεύξη σημείων, εκείνο το ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποίο κατευθύνεται απευθείας από την κεραία του πομπού σε εκείνη τη κεραία του δέκτη και χωρίς να υποστεί κάποια ανάκλαση από τα αντίστοιχα γειτονικά εμπόδια. Απαραίτητη όμως προϋπόθεση για να συμβαίνει το σχετικά παραπάνω συμβάν, είναι να είναι ελεύθερη από οποιαδήποτε εμπόδια σε μια περιοχή του ασύρματου καναλιού μεταξύ των δύο σημείων προς επικοινωνία που ονομάζεται ζώνη του *Fresnel*. Βέβαια όταν ένα εμπόδιο βρίσκεται μέσα στη πρώτη ζώνη του *Fresnel* τότε το κανάλι χαρακτηρίζεται σαν *Optical Line of Site* (OLOS). Το σχετικό πρότυπο IEEE 802.16 μπορεί επίσης να παρέχει και μια επικοινωνία και σε σημεία τα οποία βρίσκονται σε συνθήκες OLOS κάτι που ο προκάτοχος του (Wi-Fi) δύσκολα μπορούσε να πετύχει<sup>55</sup>.

Τέλος, στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί πως η σχετική χρήση της διαμόρφωσης του OFDM επιτρέπει στο πρωτόκολλο WiMAX να εξασφαλίζει κάποιες σχετικές σταθερές αλλά και αξιόπιστες συνδέσεις ακόμα και σε συνθήκες του NLOS και όπως ήδη αναλύθηκε παραπάνω. Είναι γεγονός πως η τεχνική του OFDM μπορεί και υποστηρίζει μια συγκεκριμένη μετάδοση με πολλαπλές φέρουσες προσδίδοντας στο πρότυπο ανθεκτικότητα στη μετάδοση των δεδομένων και πολύ καλές επιδόσεις σε ότι αφορά το φαινόμενο της πολυδιόδευσης. Επιπλέον δε, η χρήση κωδίκων διόρθωσης σφαλμάτων όπως οι Forward Error Correction (FEC) και Cyclic Redundancy

---

<sup>55</sup> Δουλγέρη Χ., Κεμαλής Κ, Μακροβασίλης Α., Ασφάλεια στο Πρότυπο IEEE 802.16 (WiMAX), Αθήνα, 2006

Checking (CRC) προσδίδει στο πρότυπο τη δυνατότητα αξιόπιστης μετάδοσης κρατώντας σε χαμηλά επίπεδα την ισχύ εκπομπής και λήψης<sup>56</sup>.

### **3. Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> : Επίλογος**

---

<sup>56</sup> Δουλγέρη Χ., Κεμαλής Κ, Μακροβασίλης Α., Ασφάλεια στο Πρότυπο ΙΕΕΕ 802.16 (WiMAX), Αθήνα, 2006

Σκοπός του φοιτητή στη παρούσα πτυχιακή εργασία, ήταν να αναλύσει τη λειτουργία τους συστήματος WiMAX καθώς και των χαρακτηριστικών του προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή παροχή ποιότητας προς τους χρήστες του. Για το σχετικό λόγο λοιπόν, ο φοιτητής αναφέρεται στην πλήρη και αναλυτική λειτουργία των χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων του συστήματος WiMAX στο Πρώτο κεφάλαιο της παρούσης πτυχιακής εργασίας και στο Δεύτερο κεφάλαιο αυτής, αναφέρεται στα ειδικά χαρακτηριστικά που εντοπίζονται αλλά και σε τελική ανάλυση πως συντελεί το κάθε χαρακτηριστικό στην καλύτερη παροχή υπηρεσιών από μέρους του WiMAX προς τους χρήστες των ασύρματων συνδέσεων στις μέρες μας.

Είναι αναγκαίο επίσης να σημειωθεί πως τα σχετικά συστήματα WiMAX και τα οποία βασίζονται στο πρωτόκολλο *IEEE 802.16-2004* για μια σταθερή ευρυζωνική πρόσβαση, μπορούν και κάνουν χρήση των συχνοτήτων από τα 2 έως τα 11 GHz και καταφέρνουν με το τρόπο αυτό να πετύχουν ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 54 Mbps σε σχετικό επίπεδο MAC ή διαφορετικά 70 Mbps over the air. Επίσης, οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν ξεπερνούν βέβαια τα 50 χλμ και σε συνθήκες οπτικής επαφής. Επιπρόσθετα, με τη χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι δυνατές και οι συνδέσεις χωρίς καμία εξασφαλισμένη οπτική επαφή και υπό ορισμένες προϋποθέσεις.

Θα πρέπει να σημειωθεί και βάση των παραπάνω, πως το να ταυτοποιείται λοιπόν ένα προϊόν με το όνομα WiMAX σημαίνει ότι έχει κατασκευαστεί με βάση το πρότυπο 802.16 και έτσι εξασφαλίζεται η

συμβατότητα και η διαλειτουργικότητα (interoperability) στον BWA εξοπλισμό. Το πρότυπο IEEE 802.16 παρέχει υψηλού επιπέδου ποιότητα υπηρεσίας.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί πως το επίπεδο MAC του προτύπου είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει στους χρήστες, όταν οι ίδιοι το επιθυμούν, εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης και ταυτόχρονα κίνηση best effort σε χρήστες που καλύπτονται από το ίδιο base station κάτι που το πρότυπο IEEE 802.11 δεν μπορούσε να εξασφαλίσει. Το πρότυπο IEEE 802.16 παρέχει υψηλού επιπέδου ποιότητα υπηρεσίας. Το επίπεδο MAC του προτύπου είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει στους χρήστες, όταν οι ίδιοι το επιθυμούν, εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης και ταυτόχρονα κίνηση best effort σε χρήστες που καλύπτονται από το ίδιο base station κάτι που το πρότυπο IEEE 802.11.

## **Βιβλιογραφία**

- ❖ Aboba, B., Simon, D., “*PPP EAP TLS Authentication Protocol*”, IETF RFC, 2716, 1999
- ❖ Arbaugh William, Shankar Narendar, Wan Y.C. Justin, “*Your 802.11 Wireless network has No clothes*”, March 2001,
- ❖ <http://www.cs.umd.edu/~waa/wireless.pdf>.
- ❖ Barbeau Michel, “*WiMax/802.16 Threat Analysis*”, Q2SWinet’05, Montreal, Quebec, Canada, October 2005.
- ❖ Brayley Jeremy, “*Layer 2 Transport Services: An Emerging Application of MPLS*”, White Paper, Laurel Networks, August 2001.
- ❖ Falk Rainer, Guenther Christian, Kroeselberg Dirk, Lior Avi, “*WiMAX Security Architecture*”
  
- ❖ Adams, J., 1998, “*The next world war*”, Simon and Schuster
- ❖ BloomBecker, B., 1990, “*Spectacular Computer Crimes*”, Dow Jones – Irwin
- ❖ Ransom, A. W., 1994, “*Who Owns Information*”, Basic Books
- ❖ Cavoukian, A., Tapscott, D., 1997, “*Who Knows*”, McGraw-Hill
- ❖ Denning, D., E., 1982, “*Cryptography and Data Security*”, Addison – Wesley
- ❖ Diffie, W., Landau, S., 1998, “*Beyond Calculation*”, The MIT Press
- ❖ Hager, N., 1996, “*Secret Power*”, Craig Cotton Publishing, New Zealand
- ❖ Libicki, G., M., 1995, “*What information is warfare?*”, National Defense University of USA
- ❖ McCarthy, L., 1997, “*Intranet Security*”, Prentice Hall

- ❖ Meinel, C., P., 1998, *“The Happy Hacker”*, American Eagle Publications
- ❖ Pfleeger, C., P., 1997, *“Security in Computing”*, Prentice Hall
- ❖ Rosenoer, J., 1997, *“CyberLaw”*, Springer – Verlag
- ❖ Timplon, H., F., Ruthberg, Z., G., 1993, *“Handbook of Information Security Management”*, Acerbic
- ❖ Saunders et all, (2005), *“Specified ways for research and analysis of data”*, Prentice Hall
- ❖ Sekaran U., (1992), *“Research Methods for Business, A Skill Building Approach”*. New York: John Wiles and Sons Inc.
- ❖ Schneier, B., 1996, *“Applied Cryptography”*, Prentice Hall
- ❖ Slade, P., 1994, *“Guide to Computer Viruses”*, Springer – Verlag
- ❖ Schweizer, P., 1993, *“Friendly Spies”*, The Atlantic Monthly Press
- ❖ Sterling, B., 1992, *“The Hacker Crackdown”*, Bantam
- ❖ Taylor, A., 1999, *“The Hackers”*, Routledge
- ❖ Wayner, P., 1996, *“Disappearing Cryptography”*, Academic Press
- ❖ Zikmund W.G., (2000), *“Business Research Methods”*. London: Harcourt college publishers.
- ❖ Μπουνάκης Γ., Χατζημίσιος Π., “Η Τεχνολογία WiMAX και η Σύγκρισή της με Άλλες Ασύρματες Τεχνολογίες”, Μελέτη Περίπτωσης, 2009
- ❖ Μπούζη Χ., “Μελέτη εξυπηρέτησης εσωτερικού χώρου από ασύρματες υπηρεσίες ευρυζωνικού internet (Wi-Fi). Ανάπτυξη και σχεδιασμός με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού”, Αθήνα, 2008
- ❖ Δουλγέρη Χ., Κεμαλής Κ, Μακροβασίλης Α., Ασφάλεια στο Πρότυπο IEEE 802.16 (WiMAX), Αθήνα, 2006



- ❖ Ζαβιτσάνος Σ., Παναγιωτόπουλος Φ, “Σχεδίαση και ανάπτυξη παιχνιδιού πολλαπλών χρηστών σε κινητές συσκευές, πάνω από προσωπικά δίκτυα επικοινωνιών”, ΕΜΠ, Αθήνα, 2007
- ❖ Μελετίου Ρ., “Ευρυζωνικά Ασύρματα Δίκτυα Δεδομένων WiMAX”, Χανιά, 2007
- ❖ Μπακούλη Α., Κατσινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009
- ❖ Χρυσόγελος Π., Σχεδίαση, Προσομοίωση και Κατασκευή Τμήματος RF σε Πομπό WiMAX, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008
- ❖ Ντάουλας Ν., Σύγκριση WiMAX και Βασικά Χαρακτηριστικά Wi-Fi, 2009
- ❖ Σταμάτης, Κ., Ν., 2002, «*Η Αβέβαιη Κοινωνία της Γνώσης*», Εκδόσεις Σαββάλας
- ❖ Εθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης: <http://www.ekt.gr>
- ❖ Γενική Διεύθυνση "*Κοινωνία της Πληροφορίας*" της Ευρωπαϊκής Επιτροπής:  
[http://europa.eu.int/comm/dgs/information\\_society/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/dgs/information_society/index_en.htm)
- ❖ [www.eseeurope.org](http://www.eseeurope.org)
- ❖ <http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/wimax.php>, 2010
- ❖ <http://www.tkne.net/vb/>, WiMAX Operation, 2010